

Исследование возможностей извлечения диоксида титана из приморских ильменитов

Владимир П. Молчанов ¹	vpmol@mail.ru	 000-0001-7206-356X
Михаил А. Медков ²	medkov@ich.dvo.ru	 0000-0002-9417-0312
Александр А. Юдаков ²	etcih@mail.ru	 0000-0003-4261-6615
Галина Ф. Крысенко ²	medkov@ich.dvo.ru	 0000-0002-2098-4831

¹ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т Столетия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022, Россия

² Институт химии ДВО РАН, пр-т Столетия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022, Россия

Аннотация. Титан входит в число наиболее востребованных металлов наукоемкими отраслями промышленности. В России для его производства используется импортное сырье. В то же время на юге Дальнего Востока открыт новый перспективный тип золото-ильменитовых руд и россыпей, связанных с интрузиями ультрабазитов. На примере одного из этих объектов, Ариадненского рудно-россыпного узла, исследованы возможности создания основ технологии комплексного извлечения полезных компонентов из титаносодержащих россыпей с применением приемов пиро-гидрометаллургии. В задачи настоящего исследования входило совершенствование технологических приемов извлечения титана из ильменитового концентрата с использованием сульфата аммония. Установлено, что реакции основных компонентов концентрата с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ начинаются при достижении температуры термического разложения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (300°C) и протекают с образованием смеси хорошо растворимых в воде двойных солей – сульфата аммония и железа составов $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ и сульфата аммония и титанила состава $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$. Показано, что повышение температуры взаимодействия выше 360°C приводит к термическому разложению образовавшихся двойных солей до сульфатов и затем оксидов. Полученный опыт глубокой переработки ильменитового минерального сырья поможет более обоснованно наметить пути освоения дальневосточных комплексных месторождений с соблюдением принципов рационального природопользования и охраны окружающей среды. Дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении углубления степени переработки золото-титаносодержащих песков, что позволит снизить затраты на получение отдельных продуктов и обеспечить более высокую эффективность производства.

Ключевые слова: ильменитовый концентрат, сульфат аммония, твердофазное взаимодействие, диоксид титана, металл, рациональное природопользование

Investigation of the possibilities of extraction of titanium dioxide from primorye ilmenites

Vladimir P. Molchanov ¹	vpmol@mail.ru	 000-0001-7206-356X
Michael A. Medkov ²	medkov@ich.dvo.ru	 0000-0002-9417-0312
Alexander A. Yudakov ²	etcih@mail.ru	 0000-0003-4261-6615
Galina F. Krysenko ²	medkov@ich.dvo.ru	 0000-0002-2098-4831

¹ Far East Geological Institute FEB RAS, 159 Prospekt 100-letiya Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia

² Institute of Chemistry FEB RAS, 159 Prospekt 100-letiya Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia

Abstract. Titanium is among the most demanded metals by high-tech industries. In Russia, imported raw materials are used for its production. At the same time, a new promising type of gold-ilmenite ores and placers associated with ultrabasic intrusions has been discovered in the south of the Far East. On the example of one of these objects, the Ariadne ore-placer node, the possibilities of creating the foundations of a technology for complex extraction of useful components from titanium-bearing placers using pyro-hydro-metallurgy techniques are investigated. The objectives of this study were to improve the technological methods of titanium from ilmenite concentrate using ammonium sulfate. It was found that the reactions of the main components of the concentrate with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ begin when the temperature of thermal decomposition $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (300°C) is reached and proceed with the formation of a mixture of well-soluble in water double salts - ammonium sulfate and iron compositions $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ and $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ and ammonium sulfate and titanyl composition $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$. It is shown that an increase in the interaction temperature above 360°C leads to the thermal decomposition of the formed double salts to sulfates and then oxides. The experience gained in deep processing of ilmenite mineral raw materials will help to more reasonably outline ways to develop Far Eastern complex deposits in compliance with the principles of rational nature management and environmental protection. Further research should be carried out in the direction of deepening the degree of processing of gold-titanium sands, which will reduce the cost of obtaining individual products and ensure higher production efficiency.

Keywords: ilmenite concentrate, ammonium sulfate, solid-phase interaction, titanium dioxide, metal, environmental management

Для цитирования

Молчанов В.П., Медков М.А., Юдаков А.А., Крысенко Г.Ф. Исследование возможностей извлечения диоксида титана из приморских ильменитов // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 246–251. doi:10.20914/2310-1202-2021-4-246-251

For citation

Molchanov V.P., Medkov M.A., Yudakov A.A., Krysenko G.F. Investigation of the possibilities of extraction of titanium dioxide from primorye ilmenites. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 246–251. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-4-246-251

Введение

На юге Дальнего Востока России в пределах Сихотэ-Алинского орогенного пояса с участием авторов [1, 2] выявлен новый перспективный тип проявлений комплексной минерализации, в котором стратегически важные металлы (Ti и Au) выступают основными промышленными компонентами, а широкий спектр высокотехнологичных элементов (V, Nb, Nd, Co, Hf, Ce, Y) – в качестве попутных. Присутствие в рудах и россыпях остродефицитных видов твердых полезных ископаемых указывает на необходимость создания концепции промышленного освоения этих объектов на основе принципов рационального природопользования и экологической безопасности, что и предопределило направленность наших исследований. На примере россыпей Ариадненского узла (центральная часть Приморского края) изучены возможности переработки их главного промышленного минерала – ильменита с применением методов пирогидрометаллургии.

Материалы и методы

Ильменит является источником получения диоксида титана, одного из самых востребованных титансодержащих продуктов на мировом рынке. [3]. Он представляет собой минеральный вид переменного состава $FeTiO_3$, где Fe^{2+} может изоморфно замещается Mg^{2+} и Mn^{2+} [4]. Стехиометрический состав ильменита характеризуется присутствием Ti (31,6 мас. %), или в пересчете на кислород 52,6% TiO_2 . Для ариадненских ильменитов характерны (мас. %) довольно близкие к стехиометрии содержания TiO_2 (49,5), сравнительно высокие концентрации V_2O_5 (1,8), умеренная магнезиальность (1,5), незначительные лимитируемые примеси SiO_2 (1,02) и Cr (0,2), а также специфический набор микроэлементов (до 800 г/т) Nb, Nd, Co, Cu.

Для получения диоксида титана в промышленности широко используется два способа – хлоридный и сернокислотный. Хлоридный включает первичное хлорирование титансодержащего сырья, термическую обработку полученного четыреххлористого титана с образованием свободного хлора и двуокиси титана и последующей многостадийной поверхностной обработки последней. Сернокислотный способ заключается в разложении титансодержащего сырья серной кислотой с образованием растворимых сульфатов титана и последующей переработки их в двуокись титана. Весь процесс проходит в жидкой фазе при температуре 110–120 °С. Использование этих технологий связано с существенным загрязнением окружающей среды из-за появления в первом случае

в технологической схеме свободного хлора, а во втором – образования значительных объемов сульфатных сточных вод [5–8].

Для решения этой проблемы было разработано достаточно много пирогидрометаллургических способов технологического передела [9, 10]. В случае с ариадненским шлиховым материалом нами ранее был использован наиболее экологически безопасный, но при этом достаточно простой и эффективный способ вскрытия ильменита сульфатом аммония при нагревании в интервале 360–400 °С [2, 11]. В задачи настоящего исследования входило исследование возможностей обжига ильменитов, согласно экспериментальным данным [12–20], при температурах от 300 до 360 °С.

Отобранная крупнообъемная проба исходных шлихов (до 2,5 т) была разделена с использованием методов гравитации и электромагнитной сепарации на магнитный (до 93% общей массы) и немагнитный (7%) концентраты. Первый из них практически полностью представлен ильменитом, второй включает основную массу попутных компонентов. Для эффективного вскрытия пробу ильменитового концентрата (2,7 кг/л) смешивали с сульфатом аммония $(NH_4)_2 SO_4$ марки «х.ч.». Навески со смесью ильменитового концентрата и сульфата аммония весом 10–40 г в стеклоуглеродных тиглях с крышкой помещали в муфельную печь-контроллер фирмы Nabertherm GmbH (Германия) и нагревали со скоростью 2,5 град/мин до заданной температуры. Изменения, происходящие с веществом при нагревании, контролировали по убыли массы исходной смеси, а также с использованием рентгенофазового метода анализа. Рентгенограммы образцов снимали на автоматическом дифрактометре D-8 ADVANCE с вращением образца в $CuK\alpha$ -излучении. Рентгенофазовый анализ проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2.

Процесс выщелачивания обработанного сульфатом аммония ильменитового концентрата проводили при комнатной температуре путем растворения полученного продукта в воде в течение 15–30 минут и последующего фильтрования через фильтр «синяя лента». В полученных фильтрах определяли содержание элементов методом атомно-абсорбционного анализа на спектрометре Solaar 6 M по аналитическим линиям элементов-компонентов концентрата. Термогравиметрические исследования выполнены на дериватографе Q-1500 в открытом платиновом тигле на воздухе при скорости нагревания 5 град/мин и навесках 100–200 мг.

Результаты

В процессе проведения эксперимента химическую обработку ильменитового концентрата сульфатом аммония проводили с использованием 10% – ного избытка $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Навески концентрата составляли 10–40 г. Полученную шихту нагревали до температуры 360 °С и выдерживали при этой температуре до 4–4,5 часов. Увеличение продолжительности выдержки (до 5–6 ч) не оказывало существенного влияния на состав полученного продукта, меняется только соотношение фаз и внешний вид образца: увеличение продолжительности нагрева позволяет получить сыпучий образец. После термической обработки концентрат представляет собой однородный сыпучий продукт сиреневатого цвета и, по данным рентгенофазового анализа, содержит смесь преимущественно $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$, $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$. Цвет полученного продукта обусловлен, скорее всего, появлением из-за охлаждения на воздухе кристаллогидратов двойной соли железа, окрашенных от светло-зеленого до светло-фиолетового оттенков.

Повышение температуры взаимодействия выше 400 °С сопровождается разложением образовавшихся двойных сульфатов аммония с титаном и железом. Так, на рентгенограмме продукта, полученного при нагревании шихты свыше 400 °С, помимо рефлексов двойных солей появлялись еще и рефлексы TiOSO_4 , а на рентгенограмме продукта, полученного при нагревании шихты до 480 °С, рефлексы двойной соли сульфата аммония и титана отсутствовали. Титановый продукт был представлен только TiOSO_4 , что позволяет эндотермический эффект отнести к процессу термического разложения двойной соли сульфата аммония и титанила до сульфата титанила. Дальнейшее увеличение температуры сопровождается разложением двойной соли аммония и железа до сульфата железа, а сульфата титанила – до TiO_2 . Так, нагревание смеси ильменитового концентрата с сульфатом аммония до температуры 580 °С и выдерживание при этой температуре в течение 2 ч приводит к образованию продукта, содержащего смесь преимущественно двух фаз: TiO_2 в форме анатаза и FeSO_4 с небольшой примесью кварца, присутствующего в исследуемом концентрате и не вступающим в реакцию взаимодействия с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Полученный продукт представляет собой сыпучее вещество светло-серого цвета. В некоторых случаях на поверхности полученного продукта наблюдались вкрапления порошка рыжего цвета. По данным рентгенофазового анализа

этот продукт является гематитом Fe_2O_3 , который образуется при взаимодействии FeSO_4 с кислородом воздуха в условиях уменьшения восстановительной атмосферы при уменьшении интенсивности выделения аммиака на конечной стадии термического разложения двойных солей и сульфата аммония. Добавление $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ позволяет перевести образовавшийся на поверхности оксид Fe_2O_3 снова в двойной сульфат аммония и железа при температуре 360 °С. Дальнейший рост температуры обработки ильменитового концентрата сульфатом аммония до 850–900 °С приводит к образованию оксидов железа и титана, при этом диоксид титана образуется в не растворимой в кислотах рутильной форме.

Таким образом, взаимодействие ариадненского ильменитового концентрата с сульфатом аммония протекает в температурном интервале 300–360 °С и сопровождается разрушением структуры ильменита и образованием смеси хорошо растворимых в воде двойных сульфатов аммония и железа и двойного сульфата аммония и титанила. При водном выщелачивании продукт взаимодействия ильменитового концентрата с сульфатом аммония практически полностью переходит в раствор, на дне остается лишь немного темного осадка. Согласно данным рентгенофазового анализа, этот темный осадок представляет собой смесь оксидов железа Fe_2O_3 и FeOON . Раствор водного выщелачивания имел кислую реакцию с $\text{pH} \approx 2$. Содержание элементов в полученном фильтрате определяли методом атомно-абсорбционного анализа. При этом установлено, что водное выщелачивание продукта взаимодействия ильменитового концентрата с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ при температуре 360 °С позволяет перевести в раствор практически весь титан и основную массу железа.

При небольшом нагревании (до 50–60 °С) полученный раствор мутнеет, и образуется белый осадок, который со временем оседает на дно. Рентгенофазовый анализ полученного осадка указывает на протекание процесса термогидролиза соли титана с образованием диоксида титана в форме анатаза. При небольшом подкислении раствора выщелачивания (при доведении pH раствора с 2 до 1 раствором H_2SO_4) кристаллизация диоксида титана протекает быстрее, и осадок легко отделяется фильтрованием через фильтр «синяя лента». Этот способ позволяет полностью выделить титан из раствора выщелачивания. Полученный фильтрат, выпаренный до сухих солей, представляет собой, по данным рентгенофазового анализа, смесь только двух фаз – $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ и NH_4HSO_4 .

Заключение

В результате проведенных работ установлены основы технологии переработки главного россыпеобразующего минерала Ариадненского узла – ильменита. Установлено, что взаимодействие ильменитового концентрата с сульфатом аммония начинается при достижении температуры термического разложения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ($300\text{ }^\circ\text{C}$) и протекает до $360\text{ }^\circ\text{C}$ с образованием смеси двойных солей – сульфата аммония и железа составов $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ и сульфата аммония и титанила состава $(\text{NH}_4)_2\text{TiO}(\text{SO}_4)_2$.

Водное выщелачивание продукта взаимодействия ильменитового концентрата с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ позволяет перевести в раствор практически весь титан.

Предлагаемые технические решения по извлечению полезных компонентов с соблюдением принципов рационального природопользования и экологической безопасности являются лишь первым шагом в освоении ильменитовых россыпей юга Дальнего Востока России. Очевидно, что дальнейшие исследования необходимо проводить в направлении углубления степени переработки золото-титаноносных песков, что позволит снизить затраты на получение отдельных продуктов и обеспечить более высокую эффективность производства.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 20-05-00525.

Литература

- 1 Ханчук А.И., Молчанов В.П., Андросов Д.В. Первые находки самородных золота и платины в ильменитовых россыпях Ариадненской интрузии базит-ультрабазитов (Приморье) // Доклады Российской академии наук. 2020. Т.492. № 26. С. 39–43. doi: 10.31857/S2686739720060079
- 2 Молчанов В.П., Медков М.А. Золото-ильменитовые россыпи Сихотэ-Алиня (Приморье) как перспективные источники стратегических металлов // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 242–246. doi: 10.20914/2310-1202-2020-4-242-246
- 3 U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries. 2018. 200 p. doi: 10.3133/70194932
- 4 Donohue P.H., Simonetti A., Neal C.R. Chemical characterisation of natural ilmenite: A possible new reference material // Geostandards and Geoanalytical Research. 2012. V. 36. №. 1. P. 61-73. doi: 10.1111/j. 1751-908X.2011.00124.x
- 5 Байбеков М.К., Попов В.Д., Чепрасов И.М. Производство четыреххлористого титана. Москва: Металлургия, 1980. 120 с.
- 6 Пат. № 2571904, RU. C01G 23/053, C22B 3/08, C22B 3/26. Способ переработки титансодержащего материала / Герасимова Л.Г., Касиков А.Г., Багрова Е.Г. № 2014145044/05; Заявл. 06.11.2014; Оpubл. 27.12.2015, Бюл. № 36.
- 7 Achimovičová M., Hassan-Pour S., Gock E., Vogt V. et al. Aluminothermic production of titanium alloys (Part 1): Synthesis of TiO_2 as input material // Metallurgical and Materials Engineering. 2014. V. 20. №. 2. P. 141-154. doi: 10.5937/metmateng1402141A
- 8 Zhang W., Zhu Z., Cheng C.Y. A literature review of titanium metallurgical processes // Hydrometallurgy. 2011. V. 108. P. 177–188. doi: 10.1016/j.hydromet.2011.04.005
- 9 Zhang Y. Recovery of titanium from titanium bearing blast furnace slag by sulphate melting // Canadian Metallurgical Quarterly. 2014. V. 53. №. 4. P. 440-443. doi: 10.1179/1879139514Y.0000000136
- 10 Пат. 2620440, RU. C22B 3/06, C22B 3/44, C01G 23/047, C01G 49/06, C09C 1/24, C01F 17/00. Способ комплексной переработки титаносодержащего минерального сырья / Пашнина Е.В., Гордиенко П.С. № 2016124091, Заявл. 16.06.2016; Оpubл. 25.05.2017, Бюл. № 15.
- 11 Пат. 2715193, RU, C01G 23/053, C22B 34/12, C22B 1/06, C22B 3/04, C01G 49/14, C01C 1/242. Способ переработки ильменитового концентрата / Медков М.А., Крысенко Г.Ф., Эпов Д.Г. № 2019104828; Заявл. 20.02.2019; Оpubл. 25.02.2020, Бюл. № 6.
- 12 Водопоьянов А.Г., Кожевников Г.Н. Разработка процессов извлечения диоксида титана из шлаков и лейкоксенового сырья // Экология и промышленность России. 2015. №. 5. С. 44-46.
- 13 Махоткина Е.С., Шубина М.В. Извлечение титана из шлака процесса прямого восстановления титаномагнетитов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2015. Т. 1. С. 255.
- 14 Валиев Х.Р., Хожиев Ш.Т., Файзилова Д.К. Исследование селективного извлечения металлов из титаномагнетитовых руд // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения. 2018. С. 145-147.
- 15 García-Valverde M.T., Lucena R., Cárdenas S., Valcárcel M. Titanium-dioxide nanotubes as sorbents in (micro) extraction techniques // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2014. V. 62. P. 37-45. doi: 10.1016/j.trac.2014.06.015
- 16 Rajakumar G., Rahuman A.A., Priyamvada B., Khanna V.G. et al. Eclipta prostrata leaf aqueous extract mediated synthesis of titanium dioxide nanoparticles // Materials Letters. 2012. V. 68. P. 115-117. doi: 10.1016/j.matlet.2011.10.038
- 17 Santhoshkumar T., Rahuman A.A., Jayaseelan C., Rajakumar G. et al. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using Psidium guajava extract and its antibacterial and antioxidant properties // Asian Pacific journal of tropical medicine. 2014. V. 7. №. 12. P. 968-976. doi: 10.1016/S1995-7645(14)60171-1
- 18 Jalil A., Raghad D.H., Nuaman R.S., Abd A.N. Biological synthesis of Titanium Dioxide nanoparticles by Curcuma longa plant extract and study its biological properties // World Scientific News. 2016. V. 49. №. 2. P. 204-222.
- 19 Subhapiya S., Gomathipriya P. Green synthesis of titanium dioxide (TiO_2) nanoparticles by Trigonella foenum-graecum extract and its antimicrobial properties // Microbial pathogenesis. 2018. V. 116. P. 215-220. doi: 10.1016/j.micpath.2018.01.027
- 20 Su H., Lin Y., Wang Z., Wong Y.L.E. et al. Magnetic metal-organic framework-titanium dioxide nanocomposite as adsorbent in the magnetic solid-phase extraction of fungicides from environmental water samples // Journal of Chromatography A. 2016. V. 1466. P. 21-28. doi: 10.1016/j.chroma.2016.08.066

References

- 1 Khanchuk A.I., Molchanov V.P., Androssov D.V. The first finds of native gold and platinum in ilmenite placers of the Ariadne intrusion of mafic-ultramafic rocks (Primorye). Reports of the Russian Academy of Sciences. 2020. vol. 492. no. 26. pp. 39–43. doi:10.31857/S2686739720060079 (in Russian).
- 2 Molchanov V.P., Medkov M.A. Gold-ilmenite placers of the Sikhote-Alin (Primorye) as promising sources of strategic metals. Proceedings of VSUET. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 242–246. doi: 10.20914/2310-1202-2020-4-242-246 (in Russian).
- 3 U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries. 2018. 200 p. doi: 10.3133/70194932
- 4 Donohue P.H., Simonetti A., Neal C.R. Chemical characterisation of natural ilmenite: A possible new reference material. Geostandards and Geoanalytical Research. 2012. vol. 36. no. 1. pp. 61-73. doi: 10.1111/j. 1751-908X.2011.00124.x
- 5 Baibekov M.K., Popov V.D., Cheprasov I.M. Production of titanium tetrachloride. Moscow, Metallurgiya, 1980. 120 p. (in Russian).
- 6 Gerasimova L.G., Kasikov A.G., Bagrova E.G. Method for processing titanium-containing material. Patent RF, no. 2571904, 2015.
- 7 Achimovičová M., Hassan-Pour S., Gock E., Vogt V. et al. Aluminothermic production of titanium alloys (Part 1): Synthesis of TiO₂ as input material. Metallurgical and Materials Engineering. 2014. vol. 20. no. 2. pp. 141-154. doi: 10.5937/metmateng1402141A
- 8 Zhang W., Zhu Z., Cheng C.Y. A literature review of titanium metallurgical processes. Hydrometallurgy. 2011. vol. 108. pp. 177–188. doi: 10.1016/j.hydromet.2011.04.005
- 9 Zhang Y. Recovery of titanium from titanium bearing blast furnace slag by sulphate melting. Canadian Metallurgical Quarterly. 2014. vol. 53. no. 4. pp. 440-443. doi: 10.1179/1879139514Y.0000000136
- 10 Pashnina E.V., Gordienko P.S. The method of complex processing of titanium-containing mineral raw materials. Patent RF, no. 2620440, 2017.
- 11 Medkov M.A., Krysenko G.F., Eпов D.G. Method for processing ilmenite concentrate. Patent RF, 2715193, 2020.
- 12 Vodopyanov A.G., Kozhevnikov G.N. Development of processes for extracting titanium dioxide from slags and leucocoxe raw materials. Ecology and Industry of Russia. 2015. no. 5. pp. 44-46. (in Russian).
- 13 Makhotkina E.S., Shubina M.V. Extraction of titanium from the slag of the process of direct reduction of titanomagnetites. Actual problems of modern science, technology and education. 2015. vol. 1. pp. 255. (in Russian).
- 14 Valiev Kh.R., Khozhiev Sh.T., Fayzieva D.K. Study of the selective extraction of metals from titanomagnetite ores. Science and innovations in the XXI century: topical issues, discoveries and achievements. 2018. pp. 145-147. (in Russian).
- 15 García-Valverde M.T., Lucena R., Cárdenas S., Valcárcel M. Titanium-dioxide nanotubes as sorbents in (micro) extraction techniques. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2014. vol. 62. pp. 37-45. doi: 10.1016/j.trac.2014.06.015
- 16 Rajakumar G., Rahuman A.A., Priyamvada B., Khanna V.G. et al. Eclipta prostrata leaf aqueous extract mediated synthesis of titanium dioxide nanoparticles. Materials Letters. 2012. vol. 68. pp. 115-117. doi: 10.1016/j.matlet.2011.10.038
- 17 Santhoshkumar T., Rahuman A.A., Jayaseelan C., Rajakumar G. et al. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using Psidium guajava extract and its antibacterial and antioxidant properties. Asian Pacific journal of tropical medicine. 2014. vol. 7. no. 12. pp. 968-976. doi: 10.1016/S1995-7645(14)60171-1
- 18 Jalil A., Raghad D.H., Nuaman R.S., Abd A.N. Biological synthesis of Titanium Dioxide nanoparticles by Curcuma longa plant extract and study its biological properties. World Scientific News. 2016. vol. 49. no. 2. pp. 204-222.
- 19 Subhapiya S., Gomathipriya P. Green synthesis of titanium dioxide (TiO₂) nanoparticles by Trigonella foenum-graecum extract and its antimicrobial properties. Microbial pathogenesis. 2018. vol. 116. pp. 215-220. doi: 10.1016/j.micpath.2018.01.027
- 20 Su H., Lin Y., Wang Z., Wong Y.L.E. et al. Magnetic metal-organic framework-titanium dioxide nanocomposite as adsorbent in the magnetic solid-phase extraction of fungicides from environmental water samples. Journal of Chromatography A. 2016. vol. 1466. pp. 21-28. doi: 10.1016/j.chroma.2016.08.066

Сведения об авторах

Владимир П. Молчанов к.г.-м.н., лаборатория нелинейной металлогении, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Проспект 100-летия Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, Россия, vpmol@mail.ru

 <https://orcid.org/000-0001-7206-356X>

Михаил А. Медков д.х.н., профессор, заведующий лабораторией переработки минерального сырья, Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Проспект 100-летия Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, Россия, medkov@ich.dvo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9417-0312>

Александр А. Юдаков д.т.н., научный руководитель инженерно-технологического центра (ИТЦ), Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Проспект 100-летия Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, Россия, etcih@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4261-6615>

Information about authors

Vladimir P. Molchanov Cand. Sci. (Geol.-Min.), laboratory of non-linear metallogeny, Far East Geological Institute of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 159, Prospekt 100- letiya Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, vpmol@mail.ru

 <https://orcid.org/000-0001-7206-356X>

Michael A. Medkov Dr. Sci. (Chem.), professor, laboratory of mineral processing, Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159, Prospekt 100- letiya Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, medkov@ich.dvo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9417-0312>

Alexander A. Yudakov Dr. Sci. (Engin.), scientific director, Engineering and Technology Center (ITC), Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159, Prospekt 100- letiya Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, etcih@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4261-6615>

Галина Ф. Крысенко к.х.н, лаборатория переработки минерального сырья, Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Проспект 100-летия Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, Россия, medkov@ich.dvo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2098-4831>

Galina F. Krysenko Cand. Sci. (Chem.), laboratory of mineral processing, Institute of Chemistry of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 159, Prospekt 100- letiya Vladivostoka, Vladivostok, 690022, Russia, medkov@ich.dvo.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2098-4831>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/10/2021	После редакции 03/11/2021	Принята в печать 23/11/2021
Received 18/10/2021	Accepted in revised 03/11/2021	Accepted 23/11/2021