

УДК 553.492 (571.6)

**К ВОПРОСУ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛУНИТОВЫХ РУД
АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Г. Ф. Склярова, Ю. А. Архипова

*Институт горного дела ДВО РАН, E-mail: sklyarova@igd.khv.ru,
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

Представлена геолого-экономическая модель промышленного месторождения алунитов в Амурской области (на примере Буриндинского проявления), учитывающая два варианта его освоения: исходя из потребностей региона в глиноземе и рентабельности добычи. Производственный комплекс предусматривает разработку месторождения карьером, обогащение — восстановительно-щелочное с применением варианта комплексной переработки алунитов в едином цикле с сынныритами. Расчеты показали, что создание горно-обогатительного комбината на базе месторождения рентабельно при обоих вариантах.

Алуниты, месторождение, модель, сынныриты, технико-экономические расчеты, карьер, рентабельность, Амурская область, Дальний Восток

DOI: 10.15372/FTPRPI20180120

Алуниты — гидротермально-метасоматические образования, генетически связанные со вторичными кварцитами, содержащими минерал алунит $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ в количествах не менее 20–30%. Руды с содержанием алунита до 45–50% могут рассматриваться как сырье для непосредственной переработки, с меньшими концентрациями целесообразно технологическое обогащение. Наличие в алунитах кроме глинозема (до 37%) повышенных концентраций серного ангидрида (до 38%), окиси калия (до 13%), примесей — ванадий 0.001–0.05%, галлий и других извлекаемых попутных полезных компонентов позволяет рекомендовать этот вид сырья как безотходный, комплексный с получением глинозема, серной кислоты, сульфата калия, оксида ванадия и других промпродуктов для строительных целей.

Алунит изредка встречается в виде монокристаллов гексагональных ромбоэдров, обычно скрытозернистый, землистый. В растворе каустической щелочи при температуре 50–100 °C он полностью разлагается, что положено в основу щелочных способов его переработки. При $K_2O/Na_2O = 1.5–9$ появляется возможность при комплексной переработке руд в значительных количествах попутно извлекать высококачественное ценное удобрение — сульфаты калия, алюминия и другие компоненты [1–5].

Проявления алунитов Амурской области характеризуются более выгодным для Дальнего Востока географо-экономическим положением, учитывая их близость к железной дороге, наличие ЛЭП и других источников энергии и сырья. Развиты сельское хозяйство и местные отрасли промышленности, позволяющие найти применение попутным продуктам комплексной переработки руд. Область — основной поставщик сои в Хабаровском крае и стране в целом. Для ее

выращивания требуется большое количество туков сернокислого калия, калийсодержащих комплексных удобрений. Поскольку на территории Дальнего Востока месторождения калийных солей неизвестны, в качестве их сырья могут служить alunиты. Остаточные продукты переработки — белитовые шламы — могут найти применение для производства цемента и других строительных материалов.

В настоящей работе обобщен материал по alunитовым проявлениям Амурской области — Буриндинскому и Дульнейскому, выявленным в составе нижнемеловых вторичных кварцитов талданского комплекса вулканогенных образований. С целью создания геолого-экономической модели промышленного месторождения alunитов осуществлены обобщенные технико-экономические расчеты на базе ранее выполненных ТЭС по Буриндинскому месторождению.

Буриндинское проявление alunитов расположено в Сковородинском районе вблизи разъезда Буринда ДВЖД. Оно находится на пологом восточном склоне возвышенности с абсолютными отметками более 600 м в самых верховьях р. Буринда-2. В экономическом отношении район развит слабо. Наиболее крупным является поселок городского типа Магдагачи (более 10 тыс. чел.) с железнодорожной станцией и депо, аэропортом на линии Иркутск–Хабаровск. В поселке имеется несколько предприятий местной промышленности, вдоль железной дороги проходит ЛЭП (рис. 1).



Рис. 1. Обзорная схема к модели возможного промышленного месторождения alunитов на примере Буриндинского проявления в Амурской области

В геолого-структурном отношении проявление alunитов приурочено к Талдано-Худагачинской центрально-кольцевой структуре (размерами 15×15 км), в строении которой принимают участие вулканогенные, экструзивно-субвулканические и интрузивные образования позднемелового возраста (талданский комплекс). В структурно-металлогеническом плане проявление локализовано в пределах рудного поля, входящего в состав Талданского золотоносного узла Гонжинской металлогенической зоны.

Алунитовые кварциты обладают порфиробластовой структурой и тонкозернистой массой. Содержание алунитов по химическим анализам 21 пробы варьирует от 15.6 до 89.4 %, составляя в среднем 33.9 %. В составе вторичных кварцитов выделены монокварцитовая, диаспоровая, алунит-каолинитовая и моноалунитовая фракции, что учитывалось при подсчете ресурсов. Прогнозные ресурсы по категории P_2 определены в 75.3 млн т руды; при среднем содержании алунита 33.9 % ресурсы алунитовых руд оценены в 25.5 млн т, определяющие запасы глинозема при содержаниях 37 % — в 9.45 млн т.

Исходя из опыта разведки алунитоносных кварцитов, глубина выклинивания залежей в большинстве случаев изменяется в пределах 300–500 м. Приняв для рассматриваемого массива размах минерализации 400 м на глубине 150–200 м от современной поверхности, при среднем содержании алунита в пределах 33.9 % (исключая ураганные содержания в жильных рудных телах) прогнозируемые ресурсы месторождения по категории P_2 оценены в 240 млн т руды. По горнотехническим условиям Буриндинское проявление алунитсодержащих пород позволяет вести разработку месторождения открытым способом.

В качестве перспективного объекта с целью прироста запасов алунитов в регионе может служить Дульнейское проявление алунитсодержащих вторичных кварцитов, расположенное по р. Дульней в аналогичных горнотехнических условиях в пределах Дульнейской вулканотектонической депрессии, размерами 6×5 км. При среднем содержании алунита 28 % запасы алунитовых руд здесь составляют около 33 млн т, глинозема при среднем содержании 37 % — около 12.23 млн т.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛУНИТОВ

Алунитовые руды являются труднообогатимыми вследствие тонкого прораствания алунита с кварцем [6]. Приводимая технологическая схема может условно рассматриваться в качестве одного из вариантов технологий при условии аналогий алунитов по составу с рудами, для которых они разрабатывались на примерах месторождений Дальнего Востока и других регионов. Общая технологическая схема переработки алунитового и сынныритового концентратов представлена на рис. 2.



Рис. 2. Общая технологическая схема переработки алунитового и сынныритового концентратов

По обобщенным данным, получение концентрата возможно при измельчении руды в классе 0.074 мм до 90–95 % в содовой среде при pH 9.6. Обогащение предполагается осуществлять по восстановительно-щелочной схеме, при которой глиноземистый концентрат становится пригодным для переработки на алюминий наиболее простым способом Байера. Основная флотация проводится окисленным рисайклом с образованием концентрата с содержанием алунита до 65.6 % при извлечении порядка 85 %. Полученный алунитовый концентрат содержит, %: Al_2O_3 — 27.4, K_2O — 5.1, Na_2O — 1.7, SO_3 — 25.2. Исходный алунитовый концентрат подвергается вначале дегидратирующему, а затем восстановительному обжигу при 520–560° в аппаратах кипящего слоя в присутствии газа или парообразного восстановителя (пары серы, природный газ и др.). При этом сульфаты алюминия различаются, окислы серы отгоняются в газовую фазу для получения серной кислоты контактным способом, а восстановленный алунит (глиноземистый концентрат) поступает на переработку по способу Байера [7, 8].

Выход алунитового концентрата из 1 т руды определяется по формуле

$$\gamma = \frac{K_{\text{и}} C_{\text{р}}}{C_{\text{к}}} = 0.4446, \quad (1)$$

где $K_{\text{и}} = 0.85$ — коэффициент извлечения алунита в концентрат; $C_{\text{р}} = 34$ — среднее содержание алунита в товарной руде, %; $C_{\text{к}} = 65$ — содержание алунита в концентрате, %.

Извлечение Al_2O_3 при обогащении вычисляется по следующему отношению:

$$E_{\text{об}} = \frac{\gamma B}{\alpha} = 0.9248 = 92.48 \%, \quad (2)$$

где $\gamma = 0.4446$; $B = 26.0$ — содержание Al_2O_3 в концентрате, %; $\alpha = 12.5$ — содержание Al_2O_3 в товарной руде, %.

Сквозное извлечение Al_2O_3 в товарный глинозем рассчитывается по формуле

$$E_{\text{скв}} = E_{\text{об}} E_{\text{гп}} = 0.7861 = 78.61 \%, \quad (3)$$

где $E_{\text{об}} = 92.48 \%$; $E_{\text{гп}} = 85.0$ — извлечение Al_2O_3 при глиноземном производстве, %.

В отличие от общепринятых методик для обогащения алунитов Буриндинского проявления предлагается вариант комплексной переработки в едином технологическом цикле с сынныритами Сакунского массива, которая является безотходным производством с получением глинозема. Для образования товарного глинозема гидроокись алюминия поступает как из алунитового, так и сынныритового концентратов в количественных соотношениях около 70 и 30 %. При этом удельный расход серной кислоты снижается по сравнению с использованием каолина на одну треть, с применением нефелина — в 2 раза. При переработке алюминатных растворов (кроме серной кислоты) получают глинозем, сульфаты калия и сода.

В результате промышленного использования алунитового сырья пустая порода, входящая в его состав и представленная кремнеземом, оксидом железа и другими примесями, выделяется в виде нерастворимого остатка (шлама) и удаляется в отвал. Удельное количество шлама (в том числе 60–70 % песчаной и 40–30 % илистой фракций) составляет 3–4 т на 1 т глинозема, пригодного для производства различных строительных материалов [9].

Основная попутная продукция при переработке сынныритов — метасиликаты калия и натрия — могут найти применение в качестве удобрений [10]. Выход химических продуктов составляет 2.5–3.0 т на 1 т глинозема. При спекании сынныритового концентрата с известняком образуется крупнотоннажный полупродукт — белитовый шлам. При его переработке на цемент производительность вращающихся печей на 30 % выше и расход топлива на 20 % меньше, чем при производстве цемента из глины. Серная кислота образуется за счет разложения сульфатов алюминия при восстановительном обжиге алунитов, при котором газ из восстановительного аппарата поступает для получения серной кислоты обычным контактным способом. Выпуск попутной продукции из расчета получения 1 т глинозема составляет, т: сульфат калия — 0.766, серная кислота контактная — 1.286, шлам белитовый — 1.08, шлам алунитовый — 1.459.

Глиноземное производство обеспечивается такими видами сырья, как алунитовый и сынныритовый концентраты, карбонатное и топливное сырье, сера. Получение алунитового концентрата предполагается на обогатительной фабрике, построенной вблизи карьера. Ближайший источник сынныритового сырья — Сакунский массив щелочных пород, расположенный в Каларском районе в 100 км к юго-востоку от пос. Чара и в 20 км от трассы БАМ.

Сынныриты могут рассматриваться как новый вид калий-глиноземного сырья из пород с содержанием, %: Al_2O_3 — 22.2, K_2O — 19.2, Na_2O — 1.2, SiO_2 — 54.3. После обогащения по методу автоклавного химического выщелачивания можно ожидать получение концентрата, содержащего, %: Al_2O_3 — 30.2, K_2O — 27.6, SiO_2 — 39.7, Fe_2O_3 — 2.9, который превосходит лучшие сорта нефелиновых руд.

Согласно представленной схеме технологической переработки алунитов и сынныритов за счет спекания последних с известняками, возможно получение калийного алюминатного раствора, позволяющего компенсировать потери каустической щелочи в глиноземном производстве. Для спекания с сынныритом на 1 т концентрата необходимо 1.318 г известняка. Для получения 1 т товарного глинозема требуется 2.4 т спека, в котором сынныритовый концентрат составляет 43.1 %.

Ближайшее месторождение известняков в данном районе — Чагоянское, на базе которого работает цементный завод, расположено в 140 км от станции Сиваки. При ежегодной добыче известняка около 1.5 млн т его запасов хватит для работы карьера в течение 29 лет. Перспективы прироста запасов имеются и на соседних участках. Известняки удовлетворяют промышленным требованиям для производства цементного сырья и строительной извести.

Для обеспечения технологического процесса глиноземного комплекса требуется тепловая и электрическая энергии на базе строительства ТЭЦ. Крупное месторождение бурых углей Тыгдинское находится в 40 км от железнодорожной станции Сиваки и имеет балансовые запасы 466.4 млн т. Разработка может осуществляться открытым способом. Месторождение представлено одним пластом бурых углей сложного строения мощностью до 30 м. Протяженность пласта 33 км при ширине 2–8 км. Угли представляют технологическую группу 1Б, среднезольные (21.7 %), малосернистые (до 0.25 %) и обладают теплотой сгорания 1 773 ккал/кг.

Самородная сера в технологическом процессе играет роль восстановителя при обжиге алунитового концентрата. При этом сульфат алюминия разлагается, окислы серы отгоняются в газовую фазу, поступающую на получение серной кислоты контактным способом. Предполагается поставка серы железнодорожным транспортом с Гаурдакского серного завода Туркмении (7 657 км).

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ АЛУНИТОПРОЯВЛЕНИЙ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Поскольку глиноземное производство технически и технологически сложное, энергоемкое и дорогостоящее, строительство горно-обогатительного комбината (ГОКа) может быть экономически оправданным при выпуске продукции в объемах, обеспечивающих потребности региона. Годовые потребности в алюминии определены в 300 тыс. т (около 600 тыс. т глинозема). Если принять эту величину за годовую производительность моделируемого предприятия, то производственная мощность карьера при средних содержаниях глинозема Буриндинского проявления в 12.5 % должна соответствовать 4 800 тыс. т руды в год. В расчетах годовая производительность принята в 4 500 тыс. т руды (562.5 тыс. т глинозема) исходя из того, что при совместной переработке алунитов и сынныритов из сынныритовой ветви поступает дополнительное количество глинозема, равное 84 тыс. т. При этих допущениях будет произведено 646.7 тыс. т глинозема. Запасы месторождения алунитов, обеспечивающие годовое получение руды в 4 500 тыс. т, должны составлять 135 млн т.

Модель месторождения рассчитана в двух вариантах: первый — исходя из производительности глиноземного комплекса, обеспечивающей потребности региона в глиноземе, второй — по техническим возможностям геологического проявления.

Разработка Буриндинского месторождения по горнотехническим условиям возможна открытым способом с применением буровзрывных работ. Производственный комплекс по добыче и переработке алунитовых руд включает карьер, обогатительную фабрику и горнообогатительный комбинат. В их предполагаемом размещении учитывается положение относительно железной дороги и сырьевых источников, а также предприятий реализации основных и сопутствующих промпродуктов переработки алунитовых руд.

Карьером предусматривается разработка в контуре рудного поля до глубины 54 м. Способ разработки — экскаваторно-автомобильно-бульдозерный. Транспортировка руды до обогатительной фабрики на расстояние 3 км и вскрышных пород на 1.5 км будет проводиться автосамосвалами грузоподъемностью 30 т.

Строительство обогатительной фабрики планируется в 3 км к югу от карьера, в верховьях р. Буринда. От карьера до фабрики протянется автодорога. Снабжение электроэнергией будет осуществляться от ЛЭП протяженностью до 3 км. Режим работы карьера и обогатительной фабрики круглогодичный. Число рабочих дней в году — 340, рабочих смен в сутки — 3 при продолжительности смены 8 ч.

Местом строительства глиноземного комбината выбран район станции Сиваки. Для обеспечения энергоемкого производства предусматривается строительство ТЭЦ на базе буроголинового месторождения Тыгдинского. Другие виды сырья, необходимые для глиноземного производства, будут поставляться в п. Сиваки по железной дороге: алунитовый концентрат с обогатительной фабрики до ст. Буринда — 5 км автосамосвалом, далее по железной дороге со ст. Буринда — 207 км, сынныритовый концентрат от ст. Таксимо — 1 233 км, известняки — Шимановск–Сиваки — 147 км, сера — с Гаурдакского месторождения (Туркмения) — 7 657 км, мазут и другие вспомогательные материалы из Хабаровска — 897 км.

Для реализации крупнотоннажных отходов глиноземного производства (белитовых и алунитовых шламов) предполагается строительство цементного завода вблизи от глиноземного комбината. Использование отходов повышает производительность печей (до 30 %), уменьшает расход топлива (до 20 %) по сравнению с производством цемента на глинистой составляющей. По данным ВАМИ (Всероссийского алюминиево-магниевого института), на цементном заводе производительностью до 2 185 тыс. т возможна утилизация алунитового шлама в объеме 335 тыс. т.

Расчет удельных капитальных вложений выполнен по нормативам института “Типроруда” [11] с учетом повышающих коэффициентов (с 1991 к 2014 г.) на строительно-монтажные работы — 41.93 [12], на оборудование — 60.28 [13]. В структуре затрат на карьер 70 % занимают строительно-монтажные работы и 30 % — оборудование. Капитальные вложения в строительство комплекса составят по первому варианту 45 550.5 млн руб., по второму — 65 001.9 млн руб.

Расчет эксплуатационных расходов, себестоимости добычи, обогащения и производства глинозема осуществляется с учетом современных цен по соответствующим прейскурантам и данным интернет-сайтов. Рассматривались следующие элементы затрат [14, 15]: основная и дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды, материалы, электроэнергия, текущий ремонт, прочие цеховые расходы. Товарной продукцией глиноземного комбината являются: глинозем марки Г-0, сульфат калия технической марки Б, кислота серная контактная техническая (сорт 2), белитовый шлам, алунитовый шлам. В результате эксплуатационные расходы на годовой выпуск товарной продукции по первому варианту составили 28 911.8 млн руб., по второму — 61 951.8 млн руб.

Основные технико-экономические показатели отработки руд алунитового месторождения в Амурской области приведены в таблице и позволяют сделать вывод о том, что рентабельная работа комбината на базе месторождения алунитов в Амурской области возможна при обоих вариантах.

Основные технико-экономические показатели отработки руд алунитового месторождения в Амурской области (геолого-экономическая модель промышленного освоения месторождения)

Показатель	Вариант 1	Вариант 2
Запасы руды в недрах, тыс. т	135 000	315 000
Среднее содержание алунита в руде, %	34	34
Ресурсы алунита в недрах, тыс. т	45 900	107 100
Среднее содержание глинозема в руде, %	12.5	12.5
Ресурсы глинозема в недрах, тыс. т	16 875	3 9375
Средний коэффициент вскрыши, м ³ /м ³	0.019	0.019
Годовая производительность карьера по руде, тыс. т	4 500	10 500
Срок существования карьера, лет	30	30
Капитальные вложения, в том числе, млн руб.	45 550.5	65 001.8
карьер	2 160.8	3 988.2
обогащительная фабрика	4 591.7	9 881.1
глиноземный комбинат	28 153.1	37 021.3
другие вспомогательные объекты	10 644.9	14 111.2
Себестоимость добычи 1 т руды, руб.	309.25	276.85
Себестоимость годового объема добычи, млн руб.	1 391.6	2 906.9
Извлечение алунита в концентрат, %	85	85
Годовая добыча алунитового концентрата, тыс. т	2 000	4 668.0
Себестоимость обогащения 1 т руды, руб.	770.67	736.28
Выход алунитового концентрата из 1 т руды, т	0.4446	0.4446
Сквозное извлечение глинозема, %	78.61	78.61
Себестоимость 1 т глинозема, руб.	48 153.1	44 568.5
Годовой выпуск готовой продукции в натуральном выражении, т:		
глинозем	600 000	1 389 000
сульфат калия	460 000	1 064 000
кислота серная	772 000	1 786 000
белитовый шлам	648 000	1 500 000
алунитовый шлам	875 000	2 026 000
Выпуск товарной продукции за весь период эксплуатации в стоимостном выражении, млн руб.	1 167 597	2 701 896
Эксплуатационные затраты на выпуск товарной продукции за год, млн руб.	28 891.6	61 905.7
за весь период эксплуатации, млн руб.	866 756.3	1 857 171.0
Годовая прибыль, млн руб.	10 028.0	28 157.5
Затраты на 1 руб. товарной продукции, руб.	0.742	0.687
Чистый дисконтированный доход (10%), млн руб.	2 308.3	89 963.1
Внутренняя норма доходности, %	10.79	26.46
Индекс доходности	2.05	3.38
Срок окупаемости, лет	9	4

Объем налоговых поступлений составит для первого варианта 5.22 млрд руб., в том числе в федеральный бюджет 2.7 млрд руб., бюджет Амурской области — 2.47 млрд руб., местный бюджет — 0.032 млрд руб.; для второго варианта — 12.17 млрд руб., в том числе в федеральный бюджет 6.29 млрд руб., бюджет Амурской области — 5.82 млрд руб., местный бюджет — 0.053 млрд руб.

ВЫВОДЫ

Дана технико-экономическая оценка освоения месторождений алунитового сырья и комплексной переработки его в едином цикле с сынныритами. Переработка сырья является безотходным рентабельным производством с получением глинозема, серной кислоты и сульфатов калия, алюминия, оксида ванадия, остаточных продуктов для производства цемента и других более 40 видов промпродуктов. Геолого-экономическая модель промышленного освоения Буриндинского месторождения может служить основой для определения проявлений оруденения, широко развитого в Дальневосточном регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кашкай М. А.** Алуниты, их генезис и использование. Т. 1. — М.: Недра, 1970. — 400 с.
2. **Аграновский А. А., Ключанов Л. А., Насыров Г. З.** Алуниты — комплексное сырье алюминиевой промышленности // *Металлургия*. — 1989. — № 3. — С. 25–28.
3. **Аксенов Е. М., Васильев Н. Г.** Состояние, проблемы и пути развития минерально-сырьевой базы нерудных полезных ископаемых // *Руды и металлы*. — 2009. — № 1. — С. 32–35.
4. **Аксенов Е. М., Ведерников Н. Н., Чуприна Н. С., Рябкин В. В.** Агрехимическое и горнорудное сырье на рубеже XXI века // *МРР. Экономика и управление*. — 2000. — № 5-6. — С. 7–15.
5. **Van-Van-E A. P., Sklyarova G. F., and Lavrik N. A.** Scientific principles of formation of ore mining region of Far Eastern Federal District, *Eurasianmining*, 2014, No. 1. — P. 3–7.
6. **Ремизова Л. И.** Сырьевая база алюминиевой промышленности // *МРР. Экономика и управление*. — 2005. — № 4. — С. 15–27.
7. **Геолого-экономическая оценка** минерально-сырьевых ресурсов региона Байкало-Амурской железнодорожной магистрали. — Л., 1984. — 134 с.
8. **Металлогения** Дальнего Востока России. — Хабаровск: ДВИМС, 2000. — С. 68–100.
9. **Ведерников Н. Н., Аксенов Е. М.** Социально-экономическая значимость и пути развития минерально-сырьевой базы нерудных полезных ископаемых // *Разведка и охрана недр*. — 2003. — № 3. — С. 2–7.
10. **Хантургаева Г. И., Ширеторова В. Г.** Перспективы комплексной переработки сынныритов // *ФТПРПИ*. — 2013. — № 6. — С. 158–166.
11. **Нормативы** удельных капитальных вложений для железорудной промышленности СССР на 1986–1990 гг. и на период до 2000 г. — М.: Гипроруда, 1984. — 48 с.
12. **Индексы** изменения сметной стоимости проектных и изыскательских работ на II квартал 2014 г. Письмо Минстроя РФ № 8367-ЕС/08 от 15.05.14.
13. **Индексы** изменения сметной стоимости оборудования на II квартал 2014 г. Письмо Минстроя РФ № 8367-ЕС/08 от 15.05.14.
14. **Погребицкий Е. О., Терновой В. И.** Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. — Л.: Недра, 1974. — 304 с.
15. **Методические рекомендации** по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). — М., 2007. — 241 с.
16. **Методические рекомендации** по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. — М., 2000. — 190 с.
17. **Arhipova Y. A.** Organizing the production of pigmented titanium dioxide as part of the formation of the Far-East metallurgical cluster, *Metallurgist*, 2014, No. 1-2. — P. 58–64.