

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНОГО ФЛЮСА “ФЛЮМАГ М” В АГЛОДОМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*В. И. НОСЕНКО¹, генеральный директор; А. Н. ФИЛАТОВ¹, менеджер проекта;
Г. А. НЕЧКИН², канд. техн. наук, заведующий лабораторией; В. А. КОБЕЛЕВ², канд. техн. наук,
исполнительный директор НИЦ подготовки сырья и рудно-термических процессов, kobelev_va@inbox.ru
(¹ ООО “Русское горно-химическое общество”, Россия, г. Москва;
² ОАО “Уральский институт металлов”, Россия, г. Екатеринбург)*

Аннотация. При производстве чугуна с целью уменьшения вязкости доменного шлака и улучшения его десульфуризирующей способности применяется оксид магния, который вводится в доменную печь в основном в составе железорудного агломерата, а также в виде флюсующих добавок. В качестве основного источника оксида магния при производстве железорудного агломерата используют доломит, иногда железорудные материалы с повышенным содержанием магнезии (например, ковдорский концентрат, сырой или обожженный бакальский сидерит), а также магнийсодержащие отходы производства, чаще всего конвертерный шлак. Перспективным магниезальным флюсом является брусит, который широко применяется за рубежом, в основном в Японии, при производстве железорудного агломерата. Однако брусит в агломерационном производстве России никогда не использовался. Основные параметры и эффективность его применения получены в сырьевых условиях Японии. При этом химический и минералогический составы агломерата на российских и японских аглофабриках значительно различаются. В связи с этим осуществлены исследования по влиянию на показатели процесса спекания агломерационной шихты и производства окатышей магниезального флюса “Флюмаг М”, который идентичен по своему составу бруситу. Оценка эффективности применения магниезального флюса “Флюмаг М” производили при спекании типовой агломерационной шихты НЛМК. Установлено, что частичная и полная замена в аглошихте НЛМК доломита магниезальным флюсом “Флюмаг М” приводит к повышению удельной производительности агломерационного процесса на 10–20 % (отн.) и прочности агломерата на 3–5 % (отн.) соответственно. Лабораторные эксперименты по применению магниезального флюса “Флюмаг М” на основе брусита для получения железорудных окатышей, проведенные в СТИ НИТУ “МИСиС”, показали, что сырые окатыши с добавкой магниезального флюса имеют более высокую прочность на сжатие по сравнению с окатышами с добавкой известняка. Прочность на удар и истирание обожженных окатышей с флюсом “Флюмаг М” выше, чем с известняком. Оптимальное содержание флюса “Флюмаг М” в шихте окатышей составляет 2 %. Офлюсование окатышей магниезальным флюсом “Флюмаг М” позволяет вывести из шихты бентонит и повысить прочность обожженных окатышей.

Ключевые слова: железорудный агломерат, железорудные окатыши, офлюсование, магниезальный флюс, доломит, брусит, магниезальный флюс “Флюмаг М”.

Ссылка для цитирования. Носенко В.И., Филатов А.Н., Нечкин Г.А., Кобелев В.А. Оценка эффективности применения магниезального флюса “Флюмаг М” в аглодоменном производстве // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 1. С. 26–31.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-1-26-31

ESTIMATION OF APPLICATION EFFICIENCY OF “FLUMAG M” MAGNESIA FLUX IN AGGLOMERATION AND BF PRODUCTION

*V. I. NOSENKO¹, General director; A. N. FILATOV¹, project manager;
G. A. NECHKIN², PhD (Tech), Head of Lab.; V. A. KOBELLEV², PhD (Tech), Executive director,
R&D Center of raw materials preparation and ore-thermal processes, kobelev_va@inbox.ru
(¹ LLC “Russian mining and chemical society”, Russia, Moscow;
² OJSC “Ural Institute of Metals”, Russia, Ekaterinburg)*

Abstract. To decrease viscosity of BF slag and improve its desulfurization ability during hot metal production a magnesia oxide is used, which is introduced into a blast furnace, as a rule, within iron ore sinter, as well as in the form of a fluxing additive. Dolomite, sometimes iron ore materials with increased magnesia content (for example, Kovdor concentrate, raw or roasted Bakal siderite) as well as magnesia-contained wastes, most often BOF slag, are usually used as a main source of magnesia oxide during iron ore sinter production. Brucite, which is widely used abroad, mainly in Japan during iron ore sinter production, is a very prospective magnesia flux. However, brucite was never used in sinter production in Russia. Main parameters and efficiency of its application were obtained under Japan raw materials conditions. However sinter chemical and mineral compositions at Russian and Japanese

sinter plants considerably differ. In this connection studies on influence of the magnesia flux "Flumag M", which is identical by its composition to brucite, on the process parameters of sinter burden sintering and pellets production were carried out. The estimation of application efficiency of "Flumag M" magnesia flux was made during typical sintering of NLMK sinter burden. It was determined, that partial and complete substitution of dolomite by the "Flumag M" magnesia flux in the NLMK sinter burden results in an increase of specific productivity of sintering process by 10–20% (comparative) and the sinter strength by 3–5% (comparative) correspondently. Laboratory experiments on "Flumag M" magnesia flux application, carried out in STI NITU "MISiS", showed, that raw pellets with magnesia flux additives have higher compressive strength comparing with the pellets having dolomite additives. Impact strength and abrasion strength of roasted pellets is higher, comparing with those with dolomite. Optimal content of "Flumag M" flux in the pellets burden is 2%. The application of "Flumag M" magnesia flux enables to remove burden from the burden and increase strength of roasted pellets.

Key words: iron ore sinter, iron ore pellets, flux application, magnesia flux, dolomite, brucite, "Flumag M" magnesia flux.

For citation. Nosenko V.I., Filatov A.N., Nechkin G.A., Kobelev V.A. Estimation of application efficiency of "Flumag M" magnesia flux in agglomeration and BF production. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 1, pp. 26–31. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-1-26-31

Оксид магния в металлургии используется в качестве флюсующего компонента при производстве чугуна и стали для создания шлака с оптимальными металлургическими свойствами. Повышение содержания MgO в сталеплавильном шлаке в основном преследует цель сохранения магнезитовой футеровки [1]. При производстве чугуна в доменных печах оксид магния вводится для уменьшения вязкости доменного шлака и улучшения его десульфурисующей способности [2]. Оксид магния в доменную печь вводится в основном в составе железорудного агломерата, а также в виде флюсующих добавок.

В качестве основного источника оксида магния при производстве железорудного агломерата используют доломит, иногда железорудные материалы с повышенным содержанием магнезии (например, ковдорский концентрат, сырой или обожженный бакальский сидерит), а также магнийсодержащие отходы производства — чаще всего конвертерный шлак.

Показатели агломерационного процесса и качество агломерата при использовании доломита и конвертерного шлака хуже, чем при применении других магнезиальных флюсов [3].

Перспективный магнезиальный флюс — брусит представляет собой практически чистый гидроксид магния $Mg(OH)_2$ и является "лучшим высокомагнезиальным минеральным сырьем в сравнении с другими природными минералами" [4].

Брусит в агломерационном производстве России никогда не использовался, а за рубежом, в основном в Японии, при производстве железорудного агломерата широко применяется. Общее годовое потребление брусита в металлургическом производстве Японии — 230 тыс. т, из них в агломерационном процессе — 120 тыс. т (компанией Nippon Steel) и 110 тыс. т при применении непосредственно в доменной печи (компанией JFE). Технология использования брусита при производстве железорудного агломерата запатентована в Японии фирмой Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp. [5, 6]. Брусит вводится в

агломерационную шихту в виде флюсующей добавки в количестве 0,5–2,0 % от массы шихты. Применение брусита по сравнению с другими магнийсодержащими материалами позволяет повысить прочность агломерата и производительность процесса в целом. Брусит содержит меньше оксидов SiO_2 , CaO и Al_2O_3 , больше оксида магния и обладает меньшими потерями при прокаливании. В процессе плавления и минералообразования уменьшается количество стекла в структуре агломерата, что повышает прочность агломерата, его восстановимость, прочность при восстановлении. Для получения необходимого эффекта содержание оксида магния в брусите должно быть более 50 %. Оптимальный гранулометрический состав брусита: содержание фракции <0,25 мм — 20 %; >5 мм — 5 %.

Основные параметры применения брусита и его эффективность получены в сырьевых условиях Японии, где гранулометрический состав аглошихты характеризуется невысоким содержанием тонких классов железорудных материалов. Железорудная часть шихты характеризуется высоким содержанием железа и низким содержанием пустой породы, что определяет невысокое содержание шлакообразующих оксидов и относительно низкий расход флюсов.

Условия подготовки аглошихты, химический и минералогический составы агломерата на российских аглофабриках значительно отличаются от японских [7]. Например, на заводе Nagoya содержание фракции <0,125 мм составляет всего 6–7 %, а на аглофабрике Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) содержание фракции <0,125 мм достигает более 80 %. В аглошихте НЛМК в качестве магнезиального флюса применяют доломит. Особенности минералообразования и последующего плавления агломерата в доменной печи по поведению оксида магния выявили негативный фактор — значительные колебания содержания MgO в доменном шлаке. Японские металлурги также указывают на нестабильное поведение оксида магния при плавлении в доменной печи при использова-

нии в качестве флюса доломита. Применение брусита устраняет этот негативный фактор. Магнезиальный флюс "Флюмаг М", представляющий собой флюс на основе брусита, в агломерационном производстве России прежде не использовался. За рубежом, в основном в Японии, при производстве железорудного агломерата широко применяется брусит, химический состав которого идентичен составу "Флюмаг М".

Оценку эффективности применения магнезиального флюса "Флюмаг М" производили при спекании типовой агломерационной шихты НЛМК. Физические свойства (влажность, крупность) соответствовали качеству компонентов

шихты агломерационного производства. В качестве твердого топлива использовали подготовленную коксовую мелочь НЛМК. Известковый камень, доломит и "Флюмаг М" дробили до крупности –3 мм, а известь — до крупности –5 мм. Расчет шихты производили для получения агломерата с основностью 1,8 при расходе извести в шихту 35 кг/т агломерата. Расход коксовой мелочи в опытах был постоянным. В первом опыте возврат готовили специально путем спекания расчетного состава шихты и дробления спека до крупности 0–5 мм. Количество возврата во всех опытах составляло 25 % от массы шихты. Результаты спеканий приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. ПОКАЗАТЕЛИ СПЕКАНИЯ ШИХТЫ ПАО НЛМК С МАГНЕЗИАЛЬНЫМ ФЛЮСОМ "ФЛЮМАГ М"

TABLE 1. PAO NLMK SINTERING INDICES OF BURDEN WITH "FLUMAG M" MAGNESIA FLUX

Показатель	Опытные спекания				
	базовое	Ф-1	Ф-2	Ф-3	Ф-4
Влажность шихты, %	8,8	8,2	8,4	8,5	8,2
Высота слоя шихты, мм	470	470	470	470	470
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	13,82	17,41	21,36	15,67	16,55
Выход годного, %	86,6	84,0	80,8	83,8	89,1
Удельная производительность, т/(м ² ·ч)	1,166	1,396	1,732	1,228	1,291
Прочность по ГОСТ 15137–87:					
Б _{+5 мм} , %	71,6	75,4	71,8	74,3	74,0
Б _{–0,5 мм} , %	5,8	5,1	5,3	5,3	5,8

В опытах Ф-1 и Ф-2 была произведена полная замена доломита магнезиальным флюсом "Флюмаг М". В опыте Ф-1 расход твердого топлива соответствовал базовому спеканию, а в опыте Ф-2 расход твердого топлива снижен на 9 % (отн.). В опытах Ф-3 и Ф-4 половину доломита в шихте заменили флюсом "Флюмаг М", при этом в опыте Ф-3 расход твердого топлива соответствовал базовому, а в опыте Ф-4 был снижен на 4,8 % (отн.).

Приведенные в табл. 1 результаты показывают, что полная замена доломита магнезиальным флюсом "Флюмаг М" приводит к увеличению вертикальной скорости спекания, удельной производительности на 19,7 % (отн.) и прочности агломерата на 5,3 % (отн.). При снижении расхода твердого топлива на 10 % (отн.) прочность агломерата остается на базовом уровне, но существенно возрастает удельная производительность — на 48,5 % (отн.).

При замене половины доломита в шихте магнезиальным флюсом "Флюмаг М" удельная производительность возрастает на 5–10 % (отн.), при этом прочность агломерата по сравнению с базовой шихтой повышается на 3,8 % (отн.). Снижение расхода твердого топлива на 5 % (отн.) почти не влияет на показатели прочности,

при этом несколько повышается удельная производительность.

Таким образом, частичная и полная замена в аглошихте НЛМК доломита магнезиальным флюсом "Флюмаг М" приводит к повышению удельной производительности аглопроцесса на 10–20 % (отн.) и прочности агломерата на 3–5 % (отн.).

Наряду с агломератом компонентом доменной шихты являются окатыши. В настоящее время в России производятся как неофлюсованные, так и офлюсованные окатыши. Офлюсование производится в основном известняком, а в ОАО "Карельский окатыш" наряду с известняком в качестве флюса используют магнезиальные отходы. В ходе промышленных испытаний по замене магнезиальных отходов магнезиальным флюсом "Флюмаг М" получены положительные результаты.

Офлюсованные окатыши обладают более высокими механическими и металлургическими свойствами и их применение повышает эффективность производства чугуна в доменных печах. Магнезиальные окатыши используются в доменной плавке для оптимизации состава шлака, повышения производительности и улучшения качества чугуна.

Проведенные в Уральском институте металлов исследования показали, что использование в доменных печах нефлюсованных окатышей приводит к загромождению коксовой насадки горна, снижению производительности и повышению расхода кокса. Офлюсование окатышей оксидом магния позволит улучшить их металлургические свойства и повысить технико-экономические показатели производства чугуна.

На кафедре СТИ НИТУ "МИСиС" были проведены лабораторные эксперименты по применению магнезиального флюса "Флюмаг М" на основе брусита для получения железорудных окатышей. Приведена сравнительная характеристика окатышей, офлюсованных известняком и магнезиальным флюсом "Флюмаг М". Сырые окатыши с добавкой магнезиального флюса имеют более высокую прочность на сжатие по сравнению с окатышами с добавкой известняка. Прочность на удар и истирание обожженных окатышей с флюсом "Флюмаг М" выше, чем с известняком. Оптимальное содержание флюса "Флюмаг М" в шихте окатышей составляет 2 %.

При офлюсовании окатышей с вводом в шихту флюсующих материалов возникают проблемы, связанные с процессом окомкования, прочностью и пластичностью сырых окатышей. Показатель пластичности определяет поведение сырых окатышей при транспортировке, перегрузке на конвейере и загрузке на паллеты обжиговой машины. Влияние магнезиального флюса "Флюмаг М" на процесс получения и пластичность сырых окатышей исследовали на концентрате Стойленского ГОКа.

Сырые окатыши производили в лабораторном грануляторе диам. 600 мм. Часть шихты (25–30 %) загружали в гранулятор, увлажняли и производили зародыши диам. 3–5 мм. Фракции –3 и +5 мм отсеивали, а на зародыши накатывали шихту при распылении воды. Из произведенных окатышей отсеивали фракцию +10–12 мм, в сыром виде окатыши испытывали на сбрасывание с высоты 300 мм (показатель пластичности) и термостойкость (определение температуры "шока"). Для определения прочности обожженных окатышей их подвергали обжигу в муфельной печи при температуре 1300 °С.

Были произведены нефлюсованные окатыши с содержанием даш-салахлинского бентонита 0,7 %, окатыши с вводом 1, 2, 3 и 4 % магнезиального флюса "Флюмаг М" (без бентонита) и окатыши с вводом 2 % магнезиального флюса "Флюмаг М" и 0,35 % бентонита.

Для определения пластичности сырые окатыши сбрасывали с высоты 300 мм на твердую

поверхность. Пластичность измеряли количеством падений до разрушения. Результаты определения пластичности сырых окатышей приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ СЫРЫХ ОКАТЫШЕЙ

TABLE 2. RESULTS OF DETERMINATION OF PLASTIC PROPERTIES OF RAW PELLETS

Окатыши	Содержание добавки в шихте, %	Пластичность, количество сбрасываний, раз
Неофлюсованные с бентонитом	0,7	2,9
Офлюсованные "Флюмаг М" без бентонита	1	3,9
	2	5,6
	3	4,1
	4	4,6
Офлюсованные "Флюмаг М" с 0,35 % бентонита	2	3,5

Результаты исследования показывают, что пластичность сырых офлюсованных магнезиальным флюсом "Флюмаг М" окатышей Стойленского ГОКа на уровне, а при больших расходах выше, чем у нефлюсованных окатышей на бентоните. Влага, удерживаемая бруситом, повышает пластичность окатышей и сопротивление динамическим нагрузкам.

Вторым важным показателем качества сырых окатышей является их термостойкость (температура "шока"), т. е. поведение при резком нагреве в условиях термообработки на обжиговой машине.

В настоящее время нет стандарта по определению термостойкости окатышей, поэтому использовали методику, разработанную в МИСиС. По этой методике исследование термостойкости окатышей производится в диапазоне 400–800 °С. Влажные окатыши (5–7 шт.) загружаются в печь угольного сопротивления (печь Таммана), предварительно разогретую до заданной температуры. Температуру, при которой окатыши трескаются и разрушаются, принимают за температуру "шока", при этом количество разрушившихся окатышей должно быть не менее 50 %. Результаты исследования термостойкости окатышей приведены в табл. 3. В связи с тем, что в интервале температур 500–800 °С все испытываемые окатыши сохранили свою форму и не разрушились, диапазон исследований расширили до 1000 °С.

ТАБЛИЦА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ОКАТЫШЕЙ

TABLE 3. RESULTS OF STUDY OF PELLETS HEAT RESISTANCE

Температура, °С	Неофлюсованные окатыши	Окатыши, офлюсованные "Флюмаг М"			
		1 %	2 %	3 %	4 %
825	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений
850	Трещины	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Без изменений
875	Разрушение	Без изменений	Трещины	Трещины	Трещины
900		Трещины	Разрушение	Разрушение	Разрушение
925		Разрушение			

Неофлюсованные окатыши на бентонитовой связке разрушаются при температуре 875 °С, окатыши с 1 % "Флюмаг М" — при 925 °С, окатыши с 2, 3 и 4 % "Флюмаг М" — при 900 °С. Высокая температура "шока" обеспечивает сохранение окатышей при интенсивном нагреве на обжиговой машине. Таким образом, исследования показали, что ввод в шихту окатышей "Флюмаг М" повышает температуру "шока" для окатышей с 875 до 900 °С.

После окомкования сырые окатыши обжигали в муфельной печи в воздушной атмосфере при температуре 1300 °С. После термообработки и охлаждения обожженные окатыши испытывали на прочность на сжатие по ГОСТ 24765–81. Результаты определения прочности обожженных окатышей приведены в табл. 4.

Полученные результаты показывают, что прочность обожженных окатышей повышается с вводом в шихту "Флюмаг М" в пределах 1–3 %. Снижение прочности по сравнению с неофлюсованными окатышами получено только при вводе

в шихту 4 % "Флюмаг М". Максимальное повышение прочности обожженных окатышей достигается при вводе в шихту 2 % "Флюмаг М".

ТАБЛИЦА 4. ПРОЧНОСТЬ ОБОЖЖЕННЫХ ОКАТЫШЕЙ ПО ГОСТ 24765–81

TABLE 4. STRENGTH OF PELLETS ROASTED AS PER GOST 24765–81

Окатыши	Содержание "Флюмаг М", %	Пластичность, кг/окатыш
Неофлюсованные с бентонитом	0	198,0
Офлюсованные "Флюмаг М" без бентонита	1	221,5
	2	305,2
	3	191,0
	4	178,5
Офлюсованные "Флюмаг М" с 0,35 % бентонита	2	297,2

Выводы

1. Успешный опыт работы японских металлургических предприятий и проведенные исследования позволяют утверждать, что магнезиальный флюс на основе брусита "Флюмаг М" является эффективным заменителем традиционного доломита в агломерационном производстве. Например, частичная и полная замена в аглошихте

НЛМК доломита приводит к повышению удельной производительности аглопроцесса на 10–20 % (отн.) и прочности агломерата на 3–5 % (отн.).

2. Офлюсование окатышей магнезиальным флюсом "Флюмаг М" позволяет вывести из шихты бентонит и повысить прочность сырых и обожженных окатышей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокомагнезиальные флюсы для сталеплавильного производства / К.Н. Демидов, Т.В. Борисова, А.П. Возчиков и др. — Екатеринбург: Уральский рабочий, 2013. — 280 с.
2. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев и др. — М.: Металлургия, 1989. — 512 с.
3. Глеугабулов Б.С. Влияние магнезийсодержащих добавок на технико-экономические показатели аглодоменного производства // Тезисы докладов Всесоюз. научно-технич. конф. молодых ученых и специалистов "Интенсификация металлургических процессов и повышение качества металлов и сплавов". — Тула, 1990.
4. Сиваш В.Г., Перепелицын В.А., Митюшов Н.А. Плавленный периклаз. — Екатеринбург: Уральский рабочий, 2001. — 584 с.
5. Пат. 2007-32096 Японии, С 22 В 1/16. Method for manufacturing sintered ore using brucite. Nippon Steel.

6. Пат. 5012138, Японии, С 22 В 1/16. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp. Заявка № 2008-240109. 15.06.2012.
7. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 501 с.

Поступила 25 октября 2018 г.

REFERENCES

1. Demidov K.N., Borisova T.V., Vozchikov A.P. etc. *Vysokomagnezial'nye flyusy dlya staleplavil'nogo proizvodstva* [High magnesia fluxes for steelmaking]. Ekaterinburg: Ural'skii rabochii, 2013, 280 p. (In Russ.).
2. Vegman E.F., Zherebin B.N., Pokhvisnev A.N. etc. *Metallurgiya chuguna* [Metallurgy of hot metal]. Moscow: Metallurgiya, 1989, 512 p. (In Russ.).
3. Tleugabulov B. S. *Vliyaniye magniisoderzhashchikh dobavok na tekhniko-ekonomicheskie pokazateli aglodomennogo proizvodstva* [Influence of magnesia-containing additives on techno-economic indices of sintering and BF production]. *Tezisy dokladov Vsesoyuz. nauchno-tekhnich. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov "Intensifikatsiya metallurgicheskikh protsessov i povysheniye kachestva metallov i splavov"* [Abstracts of the All-Union. scientific and technical conf. young scientists and specialists "Intensification of metallurgical processes and improving the quality of metals and alloys"]. Tula, 1990. (In Russ.).
4. Sivash V.G., Perepelitsyn V.A., Mityushov N.A. *Plavleniy periklaz* [Fused periclase]. Ekaterinburg: Ural'skii rabochii, 2001, 584 p. (In Russ.).
5. Nippon Steel. Method for manufacturing sintered ore using brucite. Patent Japan no. 2007-32096. IPC C 22 B 1/16.
6. Nippon Steel & Sumitomo Metal Corp. Patent Japan no. 5012138. IPC C 22 B 1/16. Application no. 2008-240109. 2012.
7. Puzanov V.P., Kobleev V.A. *Vvedeniye v tekhnologii metallurgicheskogo strukturoobrazovaniya* [Introduction into technologies of metallurgical structure formation]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005, 501 p. (In Russ.).

Received October 25, 2018