

## НАУЧНАЯ ШКОЛА

# «ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»

Руководитель: Авдохин Виктор Михайлович  
профессор, доктор технических наук,  
заслуженный деятель науки РФ,  
заведующий кафедрой обогащения полезных  
ископаемых МГГУ.

## 1. НАУЧНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

### Область деятельности научной школы

Область науки и техники, охватывающая физические, физико-химические и химические процессы дезинтеграции, извлечения и концентрации полезных компонентов из минерального сырья природного и техногенного происхождения, занимающаяся изучением взаимосвязи структурного, вещественного и фазового состав сырья с его технологическими свойствами, выявлением закономерностей разделения минералов в силовых полях на основе различия их технологических свойств, обоснование и создание технологий и аппаратов, в совокупности обеспечивающих наиболее эффективное превращение минеральных ресурсов в продукты с высокими потребительскими качествами для последующего использования в различных отраслях промышленности.

### Основные направления научных исследований

- Изучение зависимостей технологических свойств минералов от их химического состава и кристаллохимической структуры. Применяется для оценки обогатимости полезных ископаемых и прогноза технологических показателей переработки.
- Интергранулярное раскрытие полезных компонентов минерального вещества и повышение контрастности их технологических свойств при энергетических воздействиях;
- Разделение минералов гравитационными методами, основанными на

различии в плотности разделяемых компонентов. Применяется при переработке и обогащении углей, руд черных, редких металлов, золота, алмазов и др.

- Разделение минералов магнитными методами, основанными на различии их магнитных свойств (магнитной восприимчивости, намагничивании). Применяется при переработке и обогащении руд черных металлов и др.

- Разделение минералов электрическими методами, основанными на различии электрических свойств (электропроводности, диэлектрической проницаемости) компонентов. Применяется при переработке руд и россыпей редких металлов и др.

- Разделение минералов флотационными методами, основанными на различии физико-химических свойств поверхности компонентов и способности их избирательно закрепляться на поверхности раздела фаз. Применяется при переработке всех типов минерального сырья.

- Разделение минералов специальными методами, основанными на различии прочности, формы, коэффициента трения, оптических, ядерно-физических и др. свойств компонентов. Применяется при переработке неметаллических и металлических полезных ископаемых.

- Разделение полезных компонентов химическими и биохимическими методами, основанными на различной их растворимости в водных растворах кислот, щелочи и солей. Применяется при переработке природного и техногенного золотосодержащего сырья и труднообогатимого сырья с низким содержанием ценных компонентов, а также для доведения до требуемых кондиций качества готовых продуктов.

- Извлечение полезных компонентов из природных и техногенных вод. Применяется при очистке и кондиционировании сточных и оборотных вод обогатительного производства.

- Моделирование и оптимизация процессов и технологических схем переработки и обогащения углей и руд.

**РУКОВОДИТЕЛЬ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ**  
**«ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ» МГГУ**



**АВДОХИН ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ,**  
профессор, доктор технических наук,  
Заслуженный деятель науки РФ, действительный  
член Академии Горных Наук, заведующий  
кафедрой «Обогащение полезных ископаемых»  
МГГУ.

После окончания Московского института стали и сплавов (1970 г.) работал в филиале ПРОМНИИПРОЕКТ. Затем после окончания аспирантуры МИСиС в 1976 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 1990 году – докторскую диссертации. В 1992 году получил ученое звание профессора.

Разработал основы неравновесной термодинамики процессов флотации; коррозионный механизм окисления и диаграммы устойчивости минералов в техногенных условиях, позволяющие определять состав продуктов их взаимодействия с реагентами и рассчитывать необходимое соотношение концентраций ионно-молекулярных компонентов для граничных условий флотации; методология определения критериев оптимизации реагентных режимов флотации руд цветных металлов, базирующихся на принципах суперпозиции физико-химических моделей разделительных процессов. Руководил освоением способов и систем автоматического регулирования процессов флотации полиметаллических руд по параметрам ионного состава пульпы на Зыряновской, Джезказганской, Карагайлинской и других обогатительных фабриках.

Член бюро Научного Совета РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых, член экспертного Совета ВАК РФ, Председатель научно-методического Совета Минобразования РФ по специальности 090300.

Автор более 150 научных работ, в том числе 4 монографии, одна из которых переведена на английский язык и издана в 14 странах. Подготовил 5 докторов и 11 кандидатов технических наук.

## ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ

Научная школа по обогащению полезных ископаемых формировалась как одна из базовых в истории развития МГА - МГИ - МГГУ.

Для проведения комплекса важнейших работ по исследованию обогатимости ряда новых крупных месторождений углей, руд черных и цветных металлов в 1921 г. в Московской горной академии на горном факультете была создана кафедра обогащения полезных ископаемых, которую возглавил профессор П.В. Лященко, создавший первую научно-педагогическую школу обогатителей. Учебная и исследовательская работа проводилась под руководством крупнейших ученых и организаторов отрасли — академика И.М. Губкина, профессоров В.И. Трушлевича, И.П. Чижевского, В.А. Ванюкова. Профессором П.В. Лященко был подготовлен первый учебник по гравитационным методам обогащения, профессором В.И. Трушлевичем был написан первый учебник по флотации, доцентом Г.И. Прейгерзоном - по технологии обогащения углей, профессором Л.Б. Левенсоном – по дроблению и грохочению полезных ископаемых.

Кафедра обогащения полезных ископаемых МГИ стала основной кузницей специалистов для строящихся обогатительных фабрик и развивающихся научно–исследовательских отраслевых институтов СССР. Наряду с учебной кафедра вела интенсивную научную работу и выполняла целый ряд крупных проектов по обогащению руд КМА, Риддеровского, Дзержинского, Карабашского, Дегтярского и других месторождений, а также углей Кизеловского, Подмосквовного, Кузнецкого и Донецкого бассейнов.

Основоположниками научных направлений являлись профессора П.В. Лященко, В.И. Трушлевич, И.М. Верховский, Л.Б. Левенсон.

**Лященко Петр Владимирович**, является основателем современной теории гравитационных методов обогащения, создателем научной школы. Разработанная им теория, раскрывающая механизм образования и свойства взвесей, создаваемых в восходящем потоке с постоянной

скоростью и методика расчета конечных скоростей падения зерен в свободных и стесненных условиях, на основе введенного им параметра Лященко, получила широкое распространение в СССР и за рубежом и до настоящего времени являются классическими. На кафедре под его руководством были исследованы циклы отсадки и разработаны технологические схемы отсадки.

Идеи П.В. Лященко используются не только в обогащении полезных ископаемых, но и в химической технологии, теории движения жидкости в насосах, в вопросах сушки в кипящем слое и в других отраслях науки и техники.

Дальнейшее развитие кафедры и формирование научно-методической школы мирового уровня было осуществлено под руководством профессора И.М. Верховского, возглавлявшего кафедру с 1942 по 1962 гг.

Его фундаментальный научный труд «Основы проектирования и оценки процессов обогащения полезных ископаемых» (1949 г.) явился базой для подготовки инженерных и научных кадров в области переработки различных типов минерального сырья. Под руководством И.М. Верховского разработаны основы теории и практики наиболее эффективного процесса обогащения в минеральных суспензиях (Г.А. Музылев, В.Н. Шохин и др.), который широко применяется в настоящее время на большинстве углеобогатительных фабрик. В частности канд. тех. наук Г.А. Музылев проводил исследования минеральных суспензий как среды для обогащения угля и установил зависимость эффективности обогащения в минеральных суспензиях от реологических параметров суспензии (вязкости и предельного напряжения сдвига), впервые сделал количественный расчет составляющих компонентов утяжелителя (1953г.).

И.М. Верховский был назначен заместителем председателя постоянно действующей Комиссии ГКНТ СССР по освоению и внедрению тяжелосредного обогащения (1955-1959 гг.). В комиссию входили такие

видные ученые-обогагатели, как доктора технических наук М.В. Циперович, В.Я. Топорков, П.П. Землянский, В.А. Малиновский.

Заслужив И.М. Верховского и его школы было внедрение тяжелосредного обогащения в угольной промышленности, применение этого процесса на всех вновь строящихся и реконструируемых фабриках, создание патентно-чистого отечественного оборудования, разработка технологических схем, освоение в промышленности в 70-е годы тяжелосредных гидроциклонных установок для обогащения мелкого угля.

В институте ИОТТ была создана лаборатория обогащения в минеральных суспензиях, которую возглавил профессор Л.С. Зарубин, в течении ряда лет работавший на кафедре под руководством И.М. Верховского. Его ученик, канд. тех. наук М.Б. Иофа, создал приоритетную технологию трехпродуктового обогащения мелкого угля в тяжелосредных гидроциклонах, разработал технологическую схему первой обогатительной фабрики на разрезе «Нерюнгринский» мощностью 9 млн.т., обогащающей уголь в трехпродуктовых тяжелосредных гидроциклонах. Канд. тех. наук И.А. Доброхотова занималась исследованием разработкой и освоением технологии обогащения крупных классов угля, в результате чего были созданы тяжелосредные сепараторы типа СКВП, СТК и др., которые внедрены на отечественных фабриках. Канд. тех. наук В.Н. Коровин продолжил изучение теоретических вопросов массопереноса применительно к тяжелосредным аппаратам для обогащения крупного и мелкого угля, уделяя особое внимание вопросам взаимодействия транспортного и разделительного массопереноса с целью усовершенствования конструкций сепараторов. Канд. тех. наук Ю.Р. Маевский разработал оборудование и схемы для регенерации утяжелителя при обогащении углей в тяжелых суспензиях. Г.А. Музылевым и В.С. Горбачевым предложен способ регенерации утяжелителя при бурении сверхглубоких нефтяных и газовых скважин, имеющий до сих пор актуальное значение.

Существенные исследования были проведены в области десульфурации углей канд. тех. наук Т.К. Ягодкиной на основе изучения генезиса сернистых соединений исследованы многочисленные факторы, влияющие на эффективность удаления серы при обогащении углей, определены специфические свойства при флотации «угольных» дисульфидов железа. Предложена классификация сернистых соединений в угле. Установлена зависимость содержания различных видов серы от количества пиритной. Разработаны комплексные технологические схемы обогащения высокосернистых коксующихся и энергетических углей.

Важное научное и практическое значение имели работы по изучению методов осветления мочных вод и обезвоживания продуктов углеобогажительных фабрик (Г.И. Прейгерзон). Впервые было исследовано действие полиакриламида, получившего в настоящее время наиболее широкое распространение в качестве флокулянта на отечественных фабриках, а также другие эффективные флокулянты. Новаторские работы проводились по процессам в мочных желобах (К.Г. Руденко), а также в области шламового хозяйства углеобогажительных фабрик (В.С. Горбачев). Ученик И.М. Верховского профессор Ю.Н. Бочков работал в направлении создания и освоения высокопроизводительного центрифугального оборудования для обезвоживания угольной мелочи и шламов: шнековых, осадительных и фильтрующих центрифуг.

В учебной и исследовательской лаборатории брикетирования (Л.А. Лурье) разрабатывались научные основы брикетирования углей и руд, с различными связующими. В течение ряда лет эта лаборатория являлась ведущей исследовательской организацией страны в области брикетирования полезных ископаемых. Ее научные работы послужили базой для создания ряда брикетных предприятий.

Большое значение имели исследования и промышленные испытания методов расширения сырьевой базы коксования и новых процессов подготовки руд к металлургическому переделу (Н.С. Егоров, Е.Ф. Панина, Б.М. Равич, Г.Ф. Бойцова, Д.Л. Лавровская, Я.Б. Левицкий и др.).

Ученик И.М. Верховского доктор тех. наук Н.Н. Виноградов является автором современной вероятно-статистической теории разделения минеральных частиц различной плотности и крупности в процессах гравитационного обогащения. Разработанная им модель отсадки позволяет не только объяснить закономерности расслоения взвеси частиц в поле гравитации, но и определить оптимальные гидродинамические и технологические параметры процесса обогащения.

С 1956 г. влияние школы И.М. Верховского распространилось на многие регионы страны. Проблемы гидродинамики перемещения и кинетики расслоения минеральных зерен в суспензиях успешно решались в Магнитогорском горно-металлургическом институте под руководством профессора В.Н. Шохина - ученика И.М. Верховского, на основе выявленных закономерностей осваивалась технология суспензионного обогащения хромовых руд на Донском ГОКе.

Исследования учеников И.М. Верховского в области обогащения железных руд и фосфоритов открывают огромную перспективу развития суспензионного метода обогащения в черной металлургии и горной химии.

Научно-технический прогресс в области флотационного обогащения минерального сырья в России во многом связан с работами ученых кафедры ОПИ МГИ-МГГУ на различных этапах ее деятельности.

Научные исследования в области флотации осуществлялись под руководством профессоров В.И. Трушлевича и В.И. Классена при участии К.А. Симонова, Г.А. Пиккат-Ордынского, Н.А. Алейникова, Н.В. Власовой, К.П. Ковачева (НБР) и др. Впервые были изучены свойства флотационной пены, вопросы ее орошения, флотация крупных классов угля, соляная флотация. Проведены обширные исследования по флотации железных руд, в частности, криворожских кварцитов. Изучены и внедрены новые флотационные реагенты. Опубликованная в 1953 г. монография профессоров В.И. Классена и В.А. Мокроусова «Введение в теорию флотации» явилась первой успешной попыткой



создания общей теории флотации и получила всеобщее признание в СССР и за рубежом.

В последующем на кафедре были подготовлены и изданы современные базовые учебники и ряд монографий в области теории и технологии флотационного обогащения полезных ископаемых, в том числе «Физико-химия флотационных процессов» (В.А. Глембоцкий, 1972 г.), «Флотационные методы обогащения» (А.А. Абрамов, 1993 г.), «Окисление сульфидных минералов в процессах обогащения» (В.М. Авдохин, А. А. Абрамов, 1989 г.), и др.. Многие работы переведены и изданы за рубежом, что, свидетельствует о международном признании научной школы МГИ по флотации.

Кафедре и научной школе ОПИ МГИ принадлежит особая роль в развитии теории и практики электрической сепарации, где впервые в СССР была создана учебная и исследовательская лаборатория электрических методов обогащения под руководством кандидата технических наук П. М. Рывкина. В 1936 г. Н.Ф. Олофинский, М.В. Бачковский и П.М. Рывкин предложили новый метод коронной электросепарации, основанный на применении коронного разряда. После практической разработки этого метода, осуществленной в 1937—1940 гг. его стали внедрять в различных отраслях промышленности. В 1942 г. под руководством Н.Ф. Олофинского в Казахстане была построена специальная фабрика по переработке электросепарацией шлихов, отходов от доводки концентратов, комплексных и некондиционных концентратов и др. Был также разработан и внедрен метод трибоадгезионной сепарации (барабанные сепараторы).

В 1943 г. И.М. Верховский и В.С. Кравченко, а затем и ученые в ДонУГИ предложили электрическую, фотоэлектрическую и рентгеновскую породоотборочные машины для обогащения угля крупнее 100 мм. В МГИ были проведены исследования по электрообогащению титановых руд, различных марганцевых руд угольной мелочи и других материалов. Создана теория коронной сепарации и сконструированы

различные типы электросепараторов, применяемых в промышленности и научно-исследовательских институтах.

В 1953 г. была издана монография Н.Ф. Олофинского «Электрические методы обогащения», выдержавшая в последующем еще два издания (1962 и 1970 гг.), в которой сформулированы основы теории и практики применения электрических методов для обогащения различных типов минерального сырья.

Ученые кафедры обогащения полезных ископаемых МГИ — МГГУ внесли значительный вклад в развитие процессов рудоподготовки. В области дробления и грохочения обширные теоретические, экспериментальные и конструкторские работы были проведены под руководством профессора Л.Б. Левенсона. Подробный анализ работы молотковых дробилок и инерционных вибраторов выполнил доцент В.Д. Земсков. Проводилось изучение различных типов грохотов. Профессором Р.А. Родиным сформулирована и обоснована новая гипотеза процесса разрушения горных пород - раскалывания упруго-хрупкого тела при воздействии разрывающего момента, возникающего в результате появления зоны всестороннего сжатия. Разработана и успешно проверена в практических условиях методика расчета гранулометрического состава продуктов дробления щековых и конусных дробилок.

Наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями процессов обогащения велось конструирование нового обогатительного оборудования и приборов. Над новыми отсадочными машинами оригинальной конструкции и усовершенствованием этих машин работали П.В. Лященко, И.М. Верховский, Н.Н. Виноградов, В.В. Бриллиантов, Л.Я. Вильвовский, Л.И. Хван и др. Были созданы машины для отсадки частиц мелких классов и неклассифицированного материала, созданы и изучены высокочастотные машины с вибраторами оригинальной конструкции, разработаны новые устройства для регулирования подачи подрешетной воды. В созданной на кафедре радиометрической лаборатории, для контроля процессов обогащения, впервые в России использовались радиоактивные изотопы. Ядерные

методы (гамма- и нейтронные излучения) применялись, в частности, для автоматизации процесса отсадки.

Внесены изменения в конструкции пневматических сепараторов (О.П. Паршин, Г.Г. Кулешов, С.Ф. Шинкоренко) и флотационных машин (К.А. Симонов). Разработаны новые конструкции коронных сепараторов, в частности, камерного типа (Н.Ф. Олофинский, П.М. Рыбкин). Широко внедрена в промышленность одновалковая зубчатая дробилка Л.Я. Вильвовского. Созданы новые машины и приборы: электропородоотборочная машина, сепаратор для автоматической сортировки кускового минерального сырья, аппарат для разделения в тяжелых жидкостях, прибор для автоматического контроля и регулирования разрыхленности постели отсадочной машины, шлюзовая пневматическая флотационная машина и др.

Работа по созданию новых методов и машин для магнитной сепарации с целью повышения ее эффективности велась в направлении увеличения разделительных сил (магнитных и центробежных), повышения напряженности магнитного поля, управление силами магнитного сцепления, вызывающими лавинную флокуляцию. Наиболее успешные разработки характеризуются оптимальным использованием гидродинамических закономерностей разделения частиц в магнитном поле.

Разработаны научные основы магнитоадгезионной сепарации тонкоизмельченных материалов, осуществлено промышленное освоение процессов высокоградиентной (полиградиентной) сепарации. В результате исследований разработаны способы и аппараты магнитного обогащения тонкоизмельченного минерального сырья с использованием полей высокой напряженности сверхпроводящих магнитных систем (профессор В.В. Кармазин, кандидаты технических наук О.П. Малюк, С.М. Ангелова и др.). С 70-х гг. МГИ и Институтом металлургии АН СССР им. А.А. Байкова проводились обширные экспериментальные исследования по применению сверхпроводящих магнитных систем для магнитного и гравитационного обогащения руд, углей и других видов сырья. В 1984

г. профессорами Кармазиным В.В. и Кармазиным В.И. издана монография «Магнитные методы обогащения», в которой сформулированы современные научные основы магнитной технологии.

В области измельчения разработаны и созданы износостойкие чугунные мелющие тела на основе литья в металлический кокиль (доцент О.П. Малюк и др.), освоена технология измельчения минерального сырья в барабанных мельницах с применением чугунных шаров, обеспечивающая снижение удельного расхода металла и электроэнергии.

Новый этап организации, становления и развития кафедры и научной школы в 80-е годы связан с разработками заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, профессора, доктора технических наук А.А. Абрамова, возглавлявшего кафедру в 1980—1995 гг., и являющимся основоположником физико-химического моделирования флотационных процессов и разработки количественной теории флотации на основе предложенных им гипотез о роли форм сорбции реагентов при флотации, оптимальных условий гидрофобизации и флотации минералов. За эти годы сформировалась современная базовая научно-педагогическая школа, интегрированная в международную систему высшего горного образования. Развивались ее связи с родственными кафедрами горных вузов России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

С 1984 г. по 1987 г. профессором кафедры работал И.С. Благоев (Главный обогатитель МУП СССР), который был одним из ведущих обогатителей в угольной отрасли. При его непосредственном участии проведены разработки по созданию новых технологий и эффективного оборудования для обогащения и брикетирования угля, спроектированы, построены и введены в эксплуатацию многие современные углеобогатительные фабрики.

С 1995 г. научную школу возглавляет заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, профессор, доктор технических наук В. М. Авдохин.

За годы деятельности научной школы по обогащению полезных ископаемых издано более 50 оригинальных монографий и учебников, ряд из которых переведены на иностранные языки и изданы в большинстве развитых стран мира, подготовлено более 20 докторов и 50 кандидатов технических наук, представлены доклады более чем на 100 Международных Конгрессах, Конференциях и Симпозиумах. Ряд ученых и их разработки отмечены правительственными наградами, государственными премиями, медалями Академии Наук, ВВЦ и зарубежных форумов.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ МОНОГРАФИЙ ВЕДУЩИХ УЧЕНЫХ ШКОЛЫ

1. Абрамов А. А. Теоретические основы оптимизации селективной флотации сульфидных руд. – М.: Недра, 1978. 412 с.
2. Абрамов А. А. Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов. М.: Недра. 1986.
3. Абрамов А. А. Технология обогащения руд цветных металлов. – М.: Недра. 1983. 452 с.
4. Абрамов А. А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1993.
5. Абрамов А. А., Горловский С. И., Рыбаков В. В. Обогащение руд цветных и редких металлов (в странах Азии, Африки и Латинской Америки). – М.: Недра, 1991. 391 с.
6. Абрамов А. А., Леонов С. Б. Обогащение руд цветных металлов. – М.: Недра, 1982.
7. Абрамов А. А., Леонов С. Б., Сорокин М. М. Химия флотационных систем. – М.: Недра. 1982. 389 с.
8. Авдохин В. М., Абрамов А. А. Окисление сульфидных минералов в процессах обогащения. – М.: Недра, 1989.
9. Акопов М. Г., Благов И. С., Бунин Г. М. Гравитационные и специальные методы обогащения мелких классов углей. – М.: Недра, 1975.
10. Благов И.С., Борц М.А., Вахрамеев Б.И. и др. Обратное водоснабжение углеобогащительных фабрик, - М.: Недра, 1970
11. Борц М.А., Бочков Ю.Н., Зарубин Л.С. Шнековые осадительные центрифуги для угольной промышленности. – М.: Недра, 1970.
12. Верховский И. М. Основы проектирования и оценки процессов обогащения полезных ископаемых. – М.: Углетехиздат, 1949.
13. Виноградов Н. Н. Гидродинамика взвесей. Обогащение и комплексное использование топлива. – М.: Недра, 1965.
14. Глембоцкий В. А. Физико–химия флотационных процессов. – М.: Недра, 1972.

15. Глембоцкий В. А., Анфимова Е. А. Флотация окисленных руд цветных металлов. – М.: Недра, 1966. 253 с.
16. Глембоцкий В. А., Классен В. И. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1981.
17. Горные науки. Освоение и сохранение недр земли /Под редакцией академика К. Н. Трубецкого, в группе ... Авдохин В. М., стр. - 425-473)-М.: изд-во АГН, 1997, 478 с.
18. Кармазин В.В., Егоров В.Л. Электрические и магнитные методы обогащения, М.: Гиредмет 1974 г.
19. Кармазин В. В., Кармазин В. И. Магнитные и электрические методы обогащения (учебник). М., Недра ,1989.
20. Кармазин В.В. Физические основы процессов обогащения полезных ископаемых. МГИ, (учебное пособие), 9 п. л. М. 1974 г.
21. Кармазин В.В. Состояние и перспективы создания подземных горнопромышленных комплексов - ДГИ, Днепропетровск, 1990 г.
22. Кармазин В. И., Кармазин В. В. Магнитные методы обогащения. - М.:, Недра, 1984.
23. Кармазин В. И., Кармазин В. В. Магнитные методы обогащения- М.: Недра, 1978.
24. Кармазин В.В., Плаксин И.Н., Кармазин В.И., Олофинский Н.Ф., Норкин В.В., Новые направления глубокого обогащения тонковкрапленных железных руд. - М.: Наука, 1964.
25. Классен В. И. Вопросы теории аэрации и флотации. – М.: Госхимиздат, 1949.
26. Классен В. И. Флотация углей. – М.: Госгортехиздат, 1963.
27. Классен В. И. Элементы теории флотации каменных углей. – М.: Углетехиздат, 1953.
28. Классен В. И., Мокроусов В. А. Введение в теорию флотации. – М.: Металлургиздат, 1953.
29. Классен В. И., Недоговорова Д. И., Дебердеев И. Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: Недра, 1969. 158 с.

30. Классен В. Ф. Флотация углей. – М.: Госгортехиздат. 1963.
31. Левенсон Л. Б. Машина для обогащения. – М., 1933.
32. Левенсон Л. Б., Верховский И. М. Обогащение угля. – Харьков, 1930.
33. Лященко П. В. Гравитационные методы обогащения. – М.: Гостоптехиздат, 1940.
34. Методы исследования флотационного процесса. Мелик – Гайказян В. И., Абрамов А. А., Рубинштейн Ю. Б., Авдохин В. М. – М.: Недра. 1993. 412 с.
35. Музылев Г. А. Обогащение угля в минеральных суспензиях. – М.: Углетехиздат, 1954.
36. Олофинский Н. Ф. Электрические методы обогащения. – М.: Недра, 1982.
37. Пиккат–Ордынский Г. А. Современное состояние и перспективы развития технологии флотации каменных углей и антрацитов. – Люберцы, изд. ИПК Минуглепрома СССР, 1985.
38. Пиккат–Ордынский Г. А., Острый В. А. Технология флотационного обогащения углей. – М.: Недра, 1972, 197 с.
39. Прейгерзон Г. И. Обогащение угля. – М.: Недра, 1969.
40. Развитие углеобогащения в СССР (Под общей редакцией И. С. Благова) – М.: Недра, 1979, 248 с.
41. Руденко К.Г., Калмыков А.В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1971
42. Руденко К.Г., Шемаханов М.М.. Обезвоживание и пылеулавливание. – М.: Недра, 1981
43. Справочник по обогащению углей /Под ред. И. С. Благова. – М.: Недра, 1974.
44. Трушлевич В. И. Флотация. – М.: ОНГИ, 1935.
45. Трушлевич В. И., Прейгерзон Г. И. Обогащение подмосковных углей. – М.: Планхозгиз, 1930, 64 с.



46. Шинкоренко С. Ф. и др. Справочник по обогащению и агломерации руд черных металлов. – М.: Недра, 1964.
47. Шохин В. Н. и др. Флотационно–химическое обогащение фосфатных руд. – М.: Недра, 1991.
48. Шохин В. Н. Новое в теории и технологии обогащения руд в суспензиях. – М.: Недра, 1977.
49. Шохин В. Н., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения. – М.: Недра, 1980.
50. Abramov A. A., Avdohin V. M. Oxidation of Sulfide Minerals in Benefication Process. - Gordon and Breach Science Publishers (Canada, Germany, Japan, United Kingdom u. a.) Amsterdam B. V., 1997, 321p)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы развития научной школы «Обогащение полезных ископаемых» МГГУ связаны с фундаментальными исследованиями процессов дезинтеграции и разделения минеральных компонентов по следующим основным направлениям:

- изучение взаимосвязи структурного, вещественного и фазового составов природного и техногенного сырья с физическими, физико-техническими и технологическими свойствами минералов с целью его прогнозной экспрессной оценки обогатимости;
- разработка общей теории интергранулярного разрушения горных пород, методов селективной дезинтеграции, механических и энергетических способов интенсификации разупрочнения минеральных комплексов;
- обоснование и разработка новых методов, процессов и аппаратов для извлечения тонкодисперсных частиц ценных компонентов при переработке минерального сырья;
- развитие общей теории процессов флотационного обогащения и их оптимизация на основе физико-химического моделирования и применения новых реагентов;
- развитие теории разделительного массопереноса и создание эффективных сепараторов с магнитными системами на сверхпроводниках;
- изучение гидродинамики и создание новых комбинированных процессов и аппаратов с наложением силовых полей для гравитационного обогащения тонкозернистых материалов и шламов;
- разработка комбинированных процессов и технологий переработки руд цветных, редких и благородных металлов с применением физических, химических и металлургических процессов, обеспечивающих повышение извлечения ценных компонентов и комплексность использования минерального сырья;

- обоснование и разработка рациональных технологий глубокой переработки и обогащения ископаемых углей, обеспечивающих получение новых видов высококачественной и экологически чистой продукции;
- моделирование обогатительных процессов с целью оптимизации проектирования и автоматизации технологий переработки минерального сырья;
- создание новых процессов и аппаратов для избирательного изменения технологических свойств минералов на основе энергетических воздействий, с целью повышения эффективности разделительных процессов;
- разработка эффективных методов очистки сточных вод и переработки техногенного сырья с извлечением и утилизацией ценных компонентов.

## ИСПОЛЬЗУЕМАЯ И ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли. – М: Изд-во АГН, 1997.
2. Авдохин В.М. Обогащение полезных ископаемых – проблемы и решения. Горный журнал № 1, 1999, с. 46 – 50.
3. Авдохин В.М., Морозов В.В. Управление процессами флотации с использованием адаптивно – детерминированных методов // ГИАБ, 2002. № 4, стр. 167-169.
4. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения М.: недра, 1993.
5. Абрамов А.А. Процессы обогащения полезных ископаемых на пороге XXI века. Горное производство и наука на рубеже веков. – М.: Вестник горно – металлургической секции РАЕН, 1996.
6. Баймаханов М.Т., Лебедев К.Б., Озеров А.И. Очистка и контроль сточных вод предприятий цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1983.
7. Беликов В.В., Корженковский Л.А. Эффективность применения гидromеталлургических и химических процессов при обогащении руд цветных, черных металлов и вторичного сырья. Горный журнал, № 4, 1997, с. 46 – 48.
8. Браун В. И., Шендерович Е. М. Современные системы управления на обогатительных фабриках. Горный журнал, № 4, 1977, с. 62 – 64.
9. Дементьева Н.А., Коган Д.И., Панченко А.Ф. и др. Комбинированная технология переработки золотосодержащих руд. Горный журнал, № 5, с. 53 – 56.
10. Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения – 2-е изд. перераб. и доп.– М.: Недра, 1984.
11. Кармазин В.В., Рыбакова О.Н., Измалков В.А. и др. Новые процессы извлечения мелкого золота из отвальных продуктов. Горный журнал, – 2002, № 2, с. 71 – 77.
12. Колтунова Т.Е., Максимов И.И., Нечай Л.А. Комбинированные технологии обогащения руд редких металлов. Горный журнал, № 4, 1997, с. 34 – 37.

13. Морозов В.В., Столяров В.Ф., Коновалов Н.М. Контроль и регулирование процессов флотации с использованием поточных рентгенофлуоресцентных анализаторов // ГИАБ, 2002. № 6, стр. 169-173.
14. Митрофанов С.И. Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов.– М.: Недра, 1984.
15. Мокроусов В.А., Лилеев В.Л. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М.: Наука. 1979.
16. Остапенко П.Е., Петров И.М., Малюк О.П., Ангелова С.М. Повышение эффективности обогащения слабомангнитного сырья на основе применения сепараторов со сверхпроводящими системами. // Горный журнал, 2002. № 3.
17. Ревнивцев В.И., Азбель Е.И., Баранов Е.Г. и др. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке. – М.: Недра, 1987, 307 с.
18. В.И. Ревнивцев, Г.А. Денисов, П.П. Зарогатский, В.Я. Гуркин. Вибрационная дезинтеграция твердых материалов. – М.: Недра, 1992.
19. Процуто В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами обогатительных фабрик. //Москва: - Недра, 1987. с. 253 с ил.
20. Седельникова Г.В., Аслануков Р.Я., Савари Е.Е. и др. Биогидрометаллургическая технология переработки золотосодержащих упорных мышьяковых концентратов. // Горный журнал № 2, 2002. с. 65-68
21. Татаринов А.П. и др. Развитие покусковой сепарации полезных ископаемых. // Цв. Металлы. 1995. № 8.
22. Чантурия В.А., Башлыкова Т.В., Чантурия Е.Л. Прогнозная оценка обогатимости золотосодержащего минерального сырья методом анализа изображений. // Горный журнал № 11, 1995. с. 46-50.
23. Чантурия В.А. Направления исследований в области обогащения полезных ископаемых. // горный вестник. 1995. № 2. с. 37-43.
24. Черняк А.С. Химическое обогащение руд. – М.: Недра, 1987.
25. Шохин В.Н., Лопатин А.Г. Гравитационные методы обогащения. // М.: Недра, 1986.
26. Шупов Л.П. Моделирование и расчет на ЭВМ схем обогащения. // М: Недра, 1980. с. 288 с ил.
27. Proceedigs of the XXI International Mineral Processing Congress.- Rome, ITALY, 2000, Edited by Paolo Massacci, ELSEVIER – 2000 V-A,B,C.