


**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

  
Руководитель программы  
аспирантуры  
профессор В.Ю. Бажин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ  
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ,  
РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЫРЬЯ  
ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

<b>Область науки:</b>	2. Технические науки
<b>Группа научных специальностей:</b>	2.6. Химические технологии, науки и материалах, металлургия
<b>Научная специальность:</b>	2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов
<b>Отрасли науки:</b>	Технические
<b>Форма освоения программы аспирантуры:</b>	Очная
<b>Срок освоения программы аспирантуры:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д.т.н., проф. В.Ю. Бажин

Санкт-Петербург

## Введение

Изучение аспирантами дисциплины «Ресурсосберегающие технологии извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения» включает:

- изучение физико-химических основ и технологических принципов ресурсосберегающих процессов извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения;
- освоение методов ресурсосбережения применительно к производству цветных, редких и благородных металлов;
- обучение практическим навыкам выполнения физико-химических и технологических расчётов, экспериментального исследования технологических процессов и систем для обоснования ресурсосберегающих технических решений извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения;
- приобретение навыков разработки ресурсосберегающих решений и оформления связанной с этим документации на результаты интеллектуальной деятельности.

Самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях, а также выработку навыков самостоятельного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Самостоятельная работа – обязательная и неотъемлемая часть учебной работы аспиранта, направленная на:

- систематизацию, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений;
- формирование умений использовать различные информационные источники: нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, творческой инициативы, ответственности и организованности;
- развитие исследовательских умений;
- приобретение навыков в преподавательской деятельности

В результате изучения дисциплины обучающийся должен демонстрировать способность и готовность:

- практически использовать полученные знания в сфере физико-химических основ и технологических принципов ресурсосберегающих процессов извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения;
- использовать в профессиональной деятельности методы ресурсосбережения применительно к производству цветных, редких и благородных металлов;
- выполнения физико-химических и технологических расчётов, экспериментального исследования технологических процессов и систем для обоснования ресурсосберегающих технических решений извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения;
- разрабатывать ресурсосберегающие решения и оформлять связанные с этим документы на результаты интеллектуальной деятельности.

### **1. Методические рекомендации по организации самостоятельного изучения дисциплины**

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, порядке проведения промежуточной аттестации.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется метод ежемесячной аттестации обучающегося по итогам выполнения текущих аудиторных и самостоятельных (внеаудиторных) работ. Форма промежуточной аттестации: зачёт/дифференцированный зачет.

### **1.1. Организация самостоятельной работы аспирантов**

Самостоятельная работа аспирантов - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы по данной дисциплине. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы аспиранта, предусмотренному учебным планом по дисциплине в текущем семестре.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Практическому занятию, лабораторной работе и самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы и срокам сдачи заданий или прохождения тестирования.

### **1.2. Работа с книгой**

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к дифференцированному зачету.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

### **1.3. Консультации**

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, аспирантам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

Самостоятельная работа по дисциплине «Ресурсосберегающие технологии извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения» включает подготовку к лекционным занятиям и изучение дополнительных материалов. В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить в рамках самостоятельной работы.

## **2. Тематика самостоятельной работы**

**Раздел 1. Физико-химические основы ресурсосберегающих процессов извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения**

Ресурсосберегающие технологии на современном этапе развития производственного комплекса по переработке сырья цветных, редких и благородных металлов природного и техногенного происхождения. Связь ресурсосберегающих процессов с приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в РФ и стратегией научно-технологического развития РФ.

Методы термодинамических и кинетических расчётов в одно- и многофазных системах для осуществления пиро-, гидро- и электрометаллургических процессов, обеспечивающих достижение ресурсосберегающих эффектов в производстве цветных редких и благородных металлов.

## **Раздел 2. Технологические принципы и технологии ресурсосбережения при извлечении цветных, редких и благородных металлов из сырья природного и техногенного происхождения**

Вовлечение в сферу производства забалансового и нетрадиционного сырья, вторичного сырья и сырья техногенного происхождения. Особенности минерально-сырьевой базы энергетического и вспомогательного сырья и актуальные проблемы её развития. Основные направления совершенствования существующих и создания новых технологий, учитывающие использование энергосберегающих решений и ресурсосберегающих процессов. Комплексная переработка исходного сырья, интенсификация технологических процессов, увеличения выхода целевых продуктов и использование экологически безопасных технических решений. Повышение качества производимой продукции и расширение её ассортимента. Направления совершенствования технологического и вспомогательного оборудования для достижения ресурсосберегающего эффекта.

## **Раздел 3. Методология и методы оптимизации технических решений для достижения ресурсосберегающего эффекта**

Физическое, аналоговое и математическое моделирование технологических процессов и систем применительно к производству чёрных, цветных и редких металлов, сплавов и попутной продукции при комплексной переработке сырья природного и техногенного происхождения. Расчётные и экспериментальные методы поиска оптимума параметров и режимов.

## **Раздел 4. Разработка ресурсосберегающих решений и оформление связанной с этим документации на результаты интеллектуальной деятельности**

Определение трендов ресурсосберегающих решений по результатам патентного поиска и анализа периодических изданий.

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые незнакомые термины и названия, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

### **3. Подготовка к лекционным занятиям**

Основная цель лекционных занятий – дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины; стимулировать

активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

Аспиранты должны приходить на лекционные занятия заранее подготовленными.

#### 4. Контрольные вопросы для самопроверки

1. Приведите примеры и проанализируйте энергосберегающие решения применительно к плавке сульфидных руд и концентратов с получением штейна.

2. Дайте характеристику комплексного использования сырья на примере переработки сульфидных медно-никелевых концентратов.

3. Дайте характеристику технологии автоклавного окислительного выщелачивания сульфидных руд и концентратов и объясните её значение для обеспечения ресурсосберегающего эффекта.

4. На примере переработки кондиционных цинковых концентратов поясните эффективность ресурсосберегающих решений на переделе обжига цинковых концентратов и при последующей переработке цинковых огарков с получением металлического цинка.

5. Поясните известные технологические приёмы, используемые для переработки свинцовых шлаков для извлечения, содержащихся в них ценных компонентов.

6. Проанализируйте технологические решения, используемые для переработки медных шламов, получаемых при электролитическом рафинировании черновой меди, с позиций их комплексной переработки.

7. Опишите технологические принципы, используемые для создания системы водооборота на металлургических предприятиях.

8. Дайте характеристику технологических решений, используемых в металлургических процессах для уменьшения газовых выбросов и связанных с ними загрязняющих веществ в воздушный бассейн.

9. Объясните принцип технологии безаппаратного выщелачивания руд, приведите примеры её использования и значение для повышения эффективности переработки металлургического сырья.

10. Проанализируйте принцип рационального использования сырья на примере переработки апатит-нефелиновых руд.

11. Дайте характеристику комплексного использования сырья на примере переработки нефелиновых руд и концентратов.

12. Опишите основные технологические принципы, позволяющие обеспечить комплексную переработку бокситового сырья.

13. Дайте характеристику энергосберегающих решений, применяемых в автоклавных технологиях глинозёмного производства.

14. Принцип химического обогащения бокситов и его значение с позиций ресурсосбережения в производстве глинозёма.

15. Кислотные технологии переработки высококремнистого алюминиевого сырья и их значение для повышения энергоэффективности технологического процесса по сравнению с существующими щелочными способами.

16. Технологические принципы повышения качества глинозёма при переработке алюминийсодержащего сырья и их значение для достижения ресурсосберегающего эффекта при электролитическом получении алюминия.

17. Проанализируйте технологические принципы, обеспечивающие достижение ресурсосберегающего эффекта при электролитическом получении алюминия.

18. Дайте характеристику эффективности цикла Байера глинозёмного производства и технологических принципов ресурсосбережения при его реализации.

19. Опишите равновесие в системе  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$  и проанализируйте возможность достижения на её основе предельных значений технологического процесса по извлечению алюминия в раствор и его осаждения из раствора.

20. Дайте характеристику технологических принципов интенсификации технологических процессов на основе кинетики гетерогенных процессов.

21. Опишите физико-химическую природу процесса активации твёрдой фазы и её влияния на повышение эффективности технологического процесса.

22. Дайте термодинамическую характеристику технологических принципов глубокого осаждения металлов из растворов.

23. Объясните физико-химическую природу показателя «выход по току» и его значение для достижения ресурсосберегающего эффекта в ходе технологического процесса.

24. Объясните термодинамическую роль углерода в технологических процессах хлорирования оксидных соединений металлов и при электролитическом получении алюминия.

25. Приведите принципиальную аппаратно-технологическую схему отделения и противоточной промывки твёрдой фазы с обоснованием принципов ресурсосбережения, вытекающих из теории процесса разделения фаз.

26. Дайте характеристику дробного факторного эксперимента, методологию планирования и его значение для снижения трудоёмкости исследования технологического процесса.

27. Дайте характеристику метода покоординатной оптимизации и приведите пример использования данного подхода для определения оптимального режима технологического процесса.

28. Дайте характеристику метода крутого восхождения и приведите пример использования данного подхода для определения оптимального режима технологического процесса.

29. Дайте характеристику многофакторного эксперимента и его значение для определения оптимального режима технологического процесса, а также приведите пример научно обоснованного выбора технологически значимых факторов и интервалов их варьирования.

30. Опишите структурные элементы и их содержание в заявке на результаты интеллектуальной деятельности, связанные с разработкой технологического решения, обеспечивающего достижение ресурсосберегающего эффекта.

## 5. Рекомендуемая литература и источники в сети Интернет

### 5.1. Основная литература

1. Металлургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1821/u\\_manual.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1821/u_manual.pdf).

2. **Металлургия цветных металлов** [Электронный ресурс] : учебник / В. М. Сизяков [и др.]. - СПб. : Горн. ун-т, 2015. - 392 с. : рис., табл. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). - Библиогр.: с. 390-391 (30 назв.). - ISBN 978-5-94211-746-7 : Б. ц. [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=108#](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108#).

3. Литвинова Т.Е. Металлургия иттрия и лантаноидов. РИЦ Горного университета. 2012. 272 с. <http://wwwcatalog.spmi.ru/marcweb2/ShowMarc.asp?docid=68633>.

4. Дубовиков О.А. Эффективные технологии переработки низкокачественных бокситов / О.А. Дубовиков, В.М. Сизяков. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. 195 с.

5. Сизяков В.М. Технологические и методологические основы получения алюминия на мощных электролизёрах / В.М. Сизяков, В.Ю. Бажин. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2011. 130 с.

6. Черемисина О.В. Теория и практика извлечения цветных, чёрных и редкоземельных металлов из промышленных растворов, стоков, природных вод и грунтов / О.В. Черемисина. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008. 148 с.

7. Бажин В.Ю. Организация и планирование эксперимента: учебное пособие. – СПб.: ЛЕМА, 2015. 130 с.

8. Сырков А.Г. Нанотехнологии и наноматериалы для минерально-сырьевого комплекса: Учебное пособие / А.Г. Сырков. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 130 с. <http://www.catalog.spmi.ru/marcweb2/ShowMarc.asp?docid=70415>

9. Шариков Ю.В. Моделирование систем. Часть 1: Синтез моделей и уравнений химической кинетики / Ю.В. Шариков, И.И. Белоглазов. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2011. 108 с.

10. Болобов В.И. Безопасность применения титана в автоклавных процессах цветной металлургии с применением газообразного кислорода: Монография. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 144 с.

11. Сизяков В.М. Получение порошков алюминия, титана и магния с использованием методов нанометаллургии: Учебное пособие / В.М. Сизяков, В.Г. Гопиенко, С.В. Александровский. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008. 95 с.

## 5.2. Дополнительная литература

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. Учебное пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Интермет Инжиниринг, 2003. — 464 с. <https://www.twirpx.com/file/264217/>

2. Расчеты в металлургии свинца, цинка и кадмия. Ю.П. Романтеев, А.А. Комков, А.Н. Федоров и др. — Под ред. В.П. Быстрова. Учебное пособие. — М.: МИСиС, 2006. — 231 с. <https://www.twirpx.com/file/2029246/>

3. Процессы и аппараты цветной металлургии. С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, А.П. Дорошкевич, В.П. Жуков, Е.И. Елисеев, С.В. Карелов, А.Б. Лебедь, С.В. Мамяченков. Учебник для вузов. — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ—УПИ, 2005. — 700 с. <https://www.twirpx.com/file/1526848/>

4. Бурухин А.Н. и др. Общие основы получения цветных металлов. Учебное пособие. — 2-е изд., доп. — Москва: Норильский никель, 2005. — 170 с. <https://www.twirpx.com/file/1990214/>

5. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. — 442 с. <https://www.twirpx.com/file/484531/>

6. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов / С.С. Набойченко, П.П. Ни, Я.М. Шнеерсон, Л.В. Чугаев. Научное издание/ — Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, — 2002, — 940 с. <https://www.twirpx.com/file/1601739/>

7. Бричкин В.Н., Сизяков В.М. Металлургия легких металлов. Производство алюминия и магния. Лабораторный практикум. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2005. — 88 с. <https://www.twirpx.com/file/135699/>

8. Сизяков В.М., Бричкин В.Н. Металлургия легких металлов. Производство глинозема. Лабораторный практикум. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2004. — 90 с. <https://www.twirpx.com/file/1511850/>

9. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач цветной металлургии. М., ГУП ИД «Руда и металлы». 1999. 147 с.

10. Петров Г.В. Концентрирование платиновых металлов при переработке традиционного и нетрадиционного платинометалльного сырья. СПб. Санкт-Петербургский горный ин-т. 2001, 106 с.

11. Бричкин В.Н. Процессы массовой кристаллизации из растворов в производстве глинозема / В.Н.Бричкин, В.М. Сизяков. СПГТИ (ТУ). СПб., 2005. 134 с.

12. Теляков Н.М. Теория и практика извлечения благородных металлов при комплексной переработке руд с применением сегрегационного и сульфатизирующего обжигов / Н.М. Теляков. Санкт-петербургский горный институт. СПб, 2000. 60 с.

13. Власов К.П. Методы научных исследований и организации эксперимента. СПб., СПГТИ. 2000. 116 с.

14. Доброхотов Г.Н. Гидрометаллургические расчеты: Учебное пособие. Л.: ЛГИ, 1980. 102 с.

15. Шалыгин Л.М. Расчёты пирометаллургических процессов на основе простых математических моделей/ Л.М. Шалыгин, Т.Р. Косовцева, С.Н.Салтыкова. СПГТИ (ТУ). СПб., 1996. 65 с.

16. Тихонов О.Н. Простые математические модели металлургических процессов. ЛГИ. Л., 1978. 109 с.

### **5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта**

— Методические указания для самостоятельной работы аспирантов;

— Методические указания по практическим занятиям.

### **5.4. Ресурсы сети «Интернет»**

1. Информационная справочная система «Консультант плюс».

2. Библиотека ГОСТов [www.gostrf.com](http://www.gostrf.com).

3. Сайт Российской государственной библиотеки. <http://www.rsl.ru/>

4. Сайт Государственной публичной научно-технической библиотеки России.  
<http://www.gpntb.ru/>

5. Каталог образовательных интернет ресурсов <http://www.edu.ru/modules.php>

6. Электронные библиотеки: <http://www.pravoteka.ru/>, <http://www.zodchii.ws/>,  
<http://www.tehlit.ru/>.

7. Специализированный портал по информационно-коммуникационным технологиям в образовании <http://www.ict.edu.ru>

### **5.5. Электронно-библиотечные системы:**

-ЭБС издательства «Лань» <https://e.lanbook.com/>

-ЭБС издательства «Юрайт» <https://biblio-online.ru/>

-ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>

-ЭБС «ZNANIUM.COM» <https://znanium.com>

-ЭБС «IPRbooks» <https://iprbookshop.ru>

-ЭБС «Elibrary» <https://elibrary.ru>

-Автоматизированная информационно-библиотечная система «Mark -SQL»  
<https://informsystema.ru>

-Система автоматизации библиотек «ИРБИС 64» <https://elnit.org>

### **5.6. Информационные справочные системы:**

1. Система ГАРАНТ: информационный правовой портал [Электронный ресурс]. –  
Электр.дан. <http://www.garant.ru/>

2. Консультант Плюс: справочно - поисковая система [Электронный ресурс]. –  
Электр.дан. [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)

3. [ООО «Современные медиа-технологии в образовании и культуре».](http://www.informio.ru/)  
<http://www.informio.ru/>.

4. Программное обеспечение Норма CS «Горное дело и полезные ископаемые»  
<https://softmap.ru/normacs/normacs-gornoe-delo-i-poleznye-iskopaemye/>

5. Информационно-справочная система «Техэксперт: Базовые нормативные документы»  
<http://www.cntd.ru/>.