

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«Смоленский государственный университет»**

Студенческое научное общество

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ  
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Сборник материалов научной студенческой конференции

г. Смоленск,  
20 марта 2019 года

Смоленск  
Издательство СмолГУ  
2019

УДК 54-  
1(063)  
ББК 24.1я431  
М 433

*Редколлегия* **Е.В. Миренкова**, кандидат педагогических наук  
(отв. редактор);  
**Т.В. Анисимова**, кандидат химических наук

М 433 **Международный год Периодической таблицы химических элементов: Сборник материалов научной студенческой конференции [Электронное издание] /отв. ред. Е.В. Миренкова; Смол. гос. ун-т. – Смоленск: Изд-во СмолГУ, 2019. – 65 с.**

В сборник включены отобранные редакционной коллегией доклады студентов естественно-географического факультета Смоленского государственного университета – участников научной конференции, состоявшейся 20 марта 2019 года. Конференция была посвящена столетию юбилею Периодического закона Д.И. Менделеева и провозглашению ООН 2019 года «*Международным годом Периодической таблицы химических элементов*».

Издание адресовано студентам, школьникам, учителям школ.

УДК 54-1(063)  
ББК 24.1я431

© Авторы, 2019  
© Издательство СмолГУ, 2019

# ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

17 февраля (1 марта) 1869 года Д.И. Менделеев закончил работу над «*Опытом системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве*». Копии своего труда автор разослал коллегам. Работа представляла собой страничку, на которой 63 химических элемента (ровно столько их было известно к этому времени) располагались в определенной последовательности. На месте трех элементов стояли знаки вопросов и были обозначены их предполагаемые атомные массы.

6 марта (18 марта) 1869 года на заседании Русского химического общества Н.А. Меншуткин зачитал доклад Менделеева «*Соотношение свойств с атомным весом элементов*». Эта работа вскоре была опубликована в «Журнале Русского химического общества» (ЖРХО, т. I, вып. 2 и 3, 1869, стр. 60-77). В ней, в частности, говорилось, что «Предполагаемую систему элементов, конечно, нельзя считать совершенно законченной, но она ... основывается на таких данных и на таких естественных сближениях, что существо ее едва ли можно считать сомнительным». А первый вывод, сделанный в статье, гласил: «Элементы, расположенные по величине их атомного веса, представляют явственную *периодичность* свойств».

В том же 1869 году доклад Д.И. Менделеева был переведен на немецкий язык и опубликован в ряде журналов. Вскоре и Периодический закон, и Периодическая система стали основой систематизации химических элементов, а также предсказания их свойств.

Учитывая огромную важность Периодической системы для развития различных областей знаний, 20 декабря 2017 года на 72-й сессии Генеральной ассамблеи Организации Объединенных Наций было предложено провозгласить 2019 год «*Международным годом Периодической таблицы химических элементов*». Поддержку идее года высказали многочисленные международные организации: Международный союз

теоретической и прикладной химии (IUPAC), Международный союз теоретической и прикладной физики, Европейская ассоциация химических и молекулярных наук, Международный совет по науке, Международный астрономический союз, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Международный союз истории и философии науки и др.

29 января 2019 года в Париже, в штаб-квартире ЮНЕСКО состоялась торжественная церемония открытия международного года.

В России торжественное открытие года прошло 6 февраля 2019 года в Москве, в здании президиума Российской академии наук (РАН). С приветственным словом к собравшимся в Большом зале РАН обратился Председатель Правительства Российской Федерации Дмитрий Анатольевич Медведев. С докладами выступили президент РАН Александр Михайлович Сергеев и вице-президент Лондонского королевского общества сэр Мартин Полякофф. Они прочитали две обширные лекции о Периодической системе элементов.

Среди участников торжественного мероприятия в г. Москве присутствовала смоленская делегация. В ее состав вошли учителя химии Смоленской области: Р.П. Григорьев (МБОУ Сметанинская СШ Смоленского района), Е.В. Нестерова (МБОУ СШ №3 г. Десногорск), Н.В. Офицера (МБОУ Печерская СШ), И.И. Сысоенкова (МБОУ Краснинская СШ), а также представители Смоленского государственного университета (доц. кафедры экологии и химии Е.В. Миренкова) и Смоленского областного института развития образования (завкафедрой методики преподавания естественно-математических дисциплин Е.Е. Буренина).

Эстафету празднования юбилейного года подхватили многочисленные учебные заведения и научные организации.

Одним из мероприятий, посвященных 150-летию Периодической таблицы, стала научная студенческая конференция, организованная кафедрой экологии и химии Смоленского государственного университета. 20 марта 2019 года студенты направлений подготовки «Педагогическое образование. Биология и химия», «Педагогическое образование. География и биология», «Экология и природопользование» выступили с

докладами. В них нашли отражение вопросы, связанные с историей систематизации химических элементов, открытием новых сверхтяжелых элементов, номенклатурой элементов и др. Представленный сборник студенческих работ является логическим завершением данного мероприятия. Знакомство студентов с научными фактами, их анализ и обобщение, приобщение к самостоятельному поиску истины, оформление результатов учебного исследования – все это нашло отражение при подготовке рукописи.

Нужно отметить, что Д.И. Менделеев был далеко не первым исследователем, который пытался систематизировать химические элементы. Триады Дёберейнера, «Земная спираль» Шанкуртуа, октавы Ньюлендса – вот далеко не полный перечень вариантов упорядочения известных на тот момент химических элементов.

Сегодняшняя Периодическая система значительно отличается от системы, собственноручно составленной Д.И. Менделеевым. И (пока!) она официально не носит его имя. При этом как автор Периодического закона Д.И. Менделеев общепризнан. Его неоспоримой заслугой является как раз то, что он нашел способ естественной систематизации элементов. Пророческие слова Д.И. Менделеева «... Периодическому закону будущее не грозит разрушением, а только надстройкой и развитием обещаются», непрерывно находят свое подтверждение.

Приведем несколько примеров этому.

«Проверкой» Периодической системы на прочность стало открытие в 1894 году английскими учеными, лордом Релеем и Уильямом Рамзаем, первого из благородных газов – аргона. Вслед за ним были открыты криптон («затаившийся»), ксенон («чужой») и неон («новый»). Это привело к тому, что Д.И. Менделеев предпринял первое и единственное прижизненное изменение структуры своей Периодической системы: в 1903 г при подготовке к переизданию «Основ химии» он добавил к таблице слева группу «инертных газов» и присвоил ей нулевую нумерацию.

В 1921 году Нильс Бор предложил вынести в отдельный блок лантаноидов 14 химических элементов, свойства которых напоминали свойства лантана. В 1945 году Гленн Сиборг, будущий обладатель Нобелевской премии по химии (1951 г),

также сформировал отдельный блок с некоторыми трансурановыми элементами – актиноидами.

В 1955 году американские учёные А. Гиорсо, Б. Харви, Г. Чоппин, С. Томпсон и Г. Сиборг, облучая ядра изотопа эйнштейния  $^{253}\text{Es}$  сильно разогнанными ядрами гелия ( $\alpha$ -частицами), получили 17 атомов нового химического элемента. Это был 101 элемент Периодической системы, впоследствии получивший название Менделевий и обозначение Md. Учёными ОИЯИ в Дубне начиная с 1962 года для химических исследований были получены сотни атомов Md.

В XXI веке Периодическую систему пополнили семь новых элементов. В 2010 году свое место в Периодической системе занял коперниций (Cn, № 112). В 2012 году в таблице появились флеровий (Fl, № 114) и ливерморий (Lv, № 116). В 2016 году IUPAC утвердил названия четырех химических элементов, факт открытия которых был подтвержден годом ранее: нихоний (Nh, № 113), московий (Mc, № 115), теннесин (Ts, № 117) и оганесон (Og, № 118). Следует отметить, что наименование 118-му химическому элементу дано в честь советского и российского ученого, специалиста в области экспериментальной ядерной физики, академика РАН, научного руководителя Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне Юрия Цолаковича Оганесяна.

И еще некоторые факты. По мере того, как Периодическую систему заселяют все более тяжелые элементы, перед учеными встает вопрос о том, насколько хорошо Периодический закон может предсказывать свойства тяжелых элементов с большим зарядом ядра. Для этих элементов характерны релятивистские эффекты – изменения пространственно-временных характеристик объектов при скоростях, соизмеримых со скоростью света. Это эффекты специальной теории относительности, которые становятся все более ощутимыми для химических элементов с большими порядковыми номерами. Дело в том, что с увеличением порядкового номера элемента увеличивается положительный заряд его ядра, воздействие поля которого на электроны приводит к увеличению их скорости. Согласно опубликованным научным данным, скорость электронов в ряде случаев может достигать до 80% от скорости света, и, следовательно, увеличивается масса

электронов. Релятивистское изменение массы тяжелых элементов приводит к искажению их энергетических уровней и подуровней по сравнению с более легкими элементами-аналогами. А это, в свою очередь, сказывается на свойствах атомов. Так, согласно проведенным в 2017 году квантовохимическим расчетам, у элемента № 118 – оганесона – вообще нет электронных уровней и подуровней. Электронная структура атома настолько размыта, что позволяет говорить об окружении ядра электронным газом.

Предполагают, что оганесон, хоть номинально и принадлежит к группе благородных газов, в отличие от своих более легких аналогов, будет находиться при нормальных условиях в твердом состоянии. При небольшом нагревании он легко будет плавиться и испаряться.

Довольно низкая энергия ионизации оганесона и его иные физические свойства позволяют предположить, что оганесон, хотя и будет химически малоактивным по сравнению с большинством других элементов, но по сравнению с предыдущими инертными газами будет весьма химически активен. Он будет даже более активен, чем флеровий и коперниций – самые малоактивные элементы среди сверхтяжелых.

Электроотрицательными элементами оганесон сможет относительно легко окисляться до степеней окисления +2 и +4, причем полагают, что со фтором оганесон будет образовывать скорее ионные, чем ковалентные соединения.

Вполне вероятно, что оганесон сможет проявлять не только восстановительные свойства, но и сам служить окислителем для сильных восстановителей. При этом он будет проявлять степень окисления  $-1$  за счёт релятивистских эффектов подоболочек и сможет образовывать соли с активными металлами – оганесониды (например, оганесонид цезия  $CsOg$ ). Как окислитель, оганесон будет проявлять некоторое сходство с атомами галогенов.

Безусловно, большой интерес для ученых представляет экспериментальное изучение свойств элементов, пополнивших Периодическую систему за последние десять лет, и сравнение их с более легкими аналогами. Такие эксперименты ведутся, однако трудности заключаются в большой сложности получения объектов изучения и их чрезвычайно малом количестве. Так, например, полученные данные в опытах с пятью атомами коперниция не

позволяют однозначно утверждать, что зафиксированные свойства будут воспроизводиться на образцах из десятков и сотен миллиардов атомов. Столь необходимых статистических данных ученым пока явно не хватает! В любом случае созданная 150 лет назад трудом Дмитрия Ивановича Менделеева Периодическая система химических элементов отнюдь не статична. Она и в наши дни ставит перед исследователями вопросы и заставляет искать ответы на них.

*Е.В. Миренкова*  
*доцент кафедры экологии и химии СмолГУ*

**А.А.Филиппова,**  
Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 3 курс,  
alinareg67@gmail.com

Научный руководитель:  
**Т.В.Анисимова,**  
Смоленский государственный университет,  
кандидат химических наук,  
доцент кафедры экологии и химии

УДК 541.9

## **МНОГОЛИКАЯ ТАБЛИЦА**

*Ключевые слова:* химические элементы, классификация, периодическая таблица, варианты, формы.

*Аннотация:* В 2019 году отмечается юбилей одного из важнейших открытий химии – 150-летие создания периодической таблицы Д.И.Менделеева. В работе представлены варианты доменделеевской классификации химических элементов, рассмотрены классические формы таблицы Д.И.Менделеева, указаны их достоинства и недостатки, обсуждены особенности лестничной и спиральных форм, приведены примеры занимательных вариантов таблиц химических элементов.

В 2019 году исполняется 150 лет Периодической таблице химических элементов Дмитрия Ивановича Менделеева. Но мало кто знает, что Д.И. Менделеев был пятьдесят третьим исследователем, который попытался систематизировать известные на тот момент химические элементы. И более того, в современном мире есть ученые, которые пытаются придумать новые и альтернативные таблицы химических элементов, считая их наиболее правильными. Так какая же она на самом деле – таблица химических элементов? И какова ее история?

Первым ученым, который попытался классифицировать химические элементы, считают знаменитого французского химика Антуана Лорана Лавуазье. В конце XVIII века в своем «Элементарном курсе химии» он разделил известные к тому времени 33 «простые субстанции» на 4 класса: 1) газы; 2) металлы;

3) неметаллы; 4) «земли» – вещества, не разлагающиеся при нагревании и оказавшиеся впоследствии оксидами [9].

Первым исследователем, положившим в основу классификации научную идею о связи химических свойств элементов с их атомной массой, был немецкий ученый Иоганн Дёберейнер. На основании сходства химических элементов он расположил их по триадам. Например, одна из триад включала следующие элементы: S, Se, Te [9].

Первым же ученым, который попытался расположить элементы в порядке возрастания их атомных весов, считается французский химик Александр Эмиль Шанкуртуа (1862). Он предложил так называемую «земную спираль». Де Шанкуртуа был одним из первых учёных, отметивших периодичность свойств элементов; его винтовой график действительно фиксирует закономерные отношения между атомными массами элементов [9].

В 1863-1865 гг. английский исследователь Джон Ньюлендс заметил, что если по возрастанию атомной массы составлять последовательности из элементов, то каждый восьмой повторяет свойства первого. Ньюлендс сравнил такую «правильность» с музыкальными октавами и определил её как правило октав [4]. Например, такой октавой был ряд элементов: H (до), Li (ре), Be (ми), B (фа), C ( соль), N (ля), O (си) [15].

Но ближе всего в 1864 году к окончательному варианту подошёл немецкий химик Юлиус Лотар Мейер. Он привёл таблицу, в которой химические элементы расположены в порядке увеличения их атомной массы. Мейер отметил, что элементы, имеющие сходные химические свойства, попадают в одни и те же вертикальные столбцы. Однако его таблица включала лишь 27 элементов, меньше половины из известных к тому времени. И – главное – Мейер не говорил о периодичности свойств элементов [9].

Первым ученым, который увидел, что с ростом атомной массы свойства химических элементов меняются не монотонно, а периодически, стал Д.И. Менделеев. 17 февраля 1869 года (1 марта 1869 года по новому стилю) Дмитрий Иванович опубликовал свою первую схему периодической таблицы в статье «Соотношение свойств с атомным весом элементов» (в журнале Русского химического общества). За несколько недель до этого

научное извещение об открытии было им разослано ведущим химикам мира [6].

По легенде, мысль о системе химических элементов пришла к Менделееву во сне, однако известно, что однажды на вопрос, как он открыл периодическую систему, учёный ответил: «Я над ней, может быть, двадцать лет думал, а вы думаете: сидел и вдруг... готово» [6].

Также периодичность перепада между атомными массами заставила Д.И.Менделеева предположить, что человечеству известны еще не все элементы. И для новых еще не известных на тот момент элементов он оставил пустые клетки в своем варианте таблицы.

Сейчас известно свыше 400 вариантов таблиц периодической системы. Рассмотрим некоторые из них.

*Короткопериодная форма* состоит из восьми групп и семи периодов. Семейства лантаноидов и актиноидов вынесены под таблицу.

Преимуществом *короткопериодной формы* перед двумя другими вариантами является то, что в ней разделение элементов на металлические и неметаллические (только если исключить элементы побочных подгрупп) производится совершенно симметрично линией, идущей из верхнего левого угла в нижний правый.

Существенным недостатком *короткопериодной формы* является то, что в ней непоследовательно выглядит восьмая группа: в ней находятся как металлы железо-платинового семейства, валентность которых не достигает восьми, так и инертные элементы (благородные газы); кроме того, эти металлы произвольно сгруппированы по три [3].

Восьмиклеточная таблица, или короткая форма периодической системы, чаще всего оформляется в следующих трех вариантах: 1) лантаноиды и актиноиды помещены в нижней части таблицы, все d-элементы внесены в группы s- и p-элементов; группы разделены на главную и побочную подгруппы; 2) все элементы распределены по 9 группам, включая нулевую, состоящим из двух подгрупп, кроме VIII- и 0-групп (в последних по одной подгруппе); лантаноиды и актиноиды включены в VI и VII периоды 3); все f-элементы помещены внутри системы,

семейство лантаноидов разделено на два "подсемейства" по семь элементов в каждом, с некоторым сдвигом клеток в сторону от основных клеток групп элементов; триады железа, рутения и осмия помещены в левой части таблицы без нумерации группы [7].

*Тридцатидвухклеточная таблица.* Была предложена Гленом Сиборгом в 1969 году. Конечно, эта форма отличается меньшей компактностью, чем другие формы таблицы, но считать это недостатком таблицы нет никаких оснований. Небольшое число ученых относят к недостаткам этой таблицы то, что "якобы" в ней разрывается связь между элементами-аналогами главной и побочной подгруппы. Такое мнение нельзя считать обоснованным, так как с точки зрения строения атома элементы-аналоги должны характеризоваться одинаковым значением конфигурационного индекса, что полностью осуществляется в этом варианте таблицы [7].

*Полудлинная таблица* – восемнадцатиклеточная. В такой таблице 14 f-элементов шестого периода – лантаноиды (занимающие места 58-71) и 14 f-элементов седьмого периода – актиноиды (занимающие места 90-103) помещены в отдельных строках под таблицей. Этим приемом авторы хотят придать таблице более компактную форму и сблизить элементы IIIВ- и IVВ-групп. Такая таблица представляет собой классификацию s-, p- и d-элементов; f-элементы вынесены из общей таблицы и рассматриваются отдельно (семейства лантаноидов и актиноидов) [7].

С 1989 года ИЮПАК была отменена короткопериодная форма таблицы химических элементов, а рекомендованной считается полудлинная.

Помимо общепринятых видов таблицы химических элементов существуют ее необычные и занимательные аналоги. Рассмотрим некоторые из них.

*Лестничная* форма предложена английским учёным Т. Бейли (1882), датским учёным Ю. Томсенем (1895) и усовершенствована Н. Бором (1921). Бор выявил три существенные особенности формирования электронных конфигураций атомов: 1) заполнение электронных оболочек (кроме оболочек, отвечающих значениям главного квантового числа  $n = 1$ ) происходит не монотонно до полной их ёмкости, а прерывается появлением совокупностей

электронов, относящихся к оболочкам с большими значениями  $n$ ; 2) сходные типы электронных конфигураций атомов периодически повторяются; 3) границы периодов Периодической системы элементов (за исключением первого и второго) не совпадают с границами последовательных электронных оболочек [11].

Лестничную форму можно считать переходной между табличной и графической формами, из которых наиболее привлекательными являются спиральные формы представления периодичности элементов.

Идею *спиральной* формы таблицы химических элементов высказал Д.И.Менделеев уже в первой статье о периодическом законе. Это было его гениальное предвидение. Позднее в итоговой статье «Периодическая законность химических элементов» он писал: «В сущности же все распределение элементов представляет непрерывность и отвечает до некоторой степени спиральной функции» [10]. Теперь очевидно, что все интуитивные и пророческие идеи Д.И.Менделеева можно совместить в пространственной спиральной форме периодического закона.

Особенно ярким примером является опубликованная немецким химиком Генрихом Баумгауером в 1870 году *спиральная* система элементов, в центре которой расположен водород, а элементы в порядке увеличения их атомной массы расположены от центра по спирали. Элементы, попадающие на каждый из радиусов спирали, имеют общие свойства, как и элементы столбца (группы) в современной таблице [7].

В периодической системе Теодора Бенфея элементы образуют *двухмерную спираль*, которая, раскручиваясь, опоясывает острова с переходными металлами, лантаноидами и актиноидами. В данной модели появляются ещё не открытые, но предсказанные  $g$ -элементы. Подобное строение имеет так называемая Химическая Галактика, предложенная Филиппом Стюартом [2].

В настоящее время индийский исследователь Мод Абубар предлагает записывать элементы по концентрическим окружностям, поместив отдельно ближе к центру гелий и водород. По словам Абубара, подобная запись отражает относительный

размер атомных ядер, поскольку размеры ячеек к краю таблицы увеличиваются [12].

Исследования, проведенные отечественными учёными Шиловым Н.А. и Данковым А.В. показали, что в основе сложного распределения элементов в предложенной ими системе находится ряд Фибоначчи (элементы числовой последовательности, в которой каждое последующее число равно сумме двух предыдущих). Пространственная кривая (спираль), на которой находятся элементы, расположена внутри конуса или в псевдосфере Н.И. Лобачевского. Элементы на этой спирали представлены дискретными точками (или «шариками»). Проекция элементов на горизонтальную плоскость, т.е. плоскость основания конуса, даёт фибоначчиевые спирали, т.е. такие спирали, на любой из которых разности между атомными номерами любых двух последовательных элементов дают числа ряда Фибоначчи [10].

Левосторонняя система французского исследователя Чарльза Жанета (1928) считается наиболее значительной альтернативой традиционному описанию периодической системы. В ней элементы расположены согласно заполнению атомных орбиталей, и она часто используется физиками. Её современная версия, известная как ADOMAN Periodic Table (2006), удобна для написания электронной конфигурации атомов [2].

Вариант, названный «Цветком Менделеева», по мнению отечественных авторов Хаскова М.А. и Рязанцева Г.Б., является эстетической версией (использование 3D-интерпретации) таблицы химических элементов и представляет собой трехмерный многолепестковый цветок, в котором каждый лепесток представлен атомами с определенным орбитальным квантовым числом [2].

Приведем также несколько примеров занимательных оригинальных вариантов систем химических элементов.

Например, интересна с точки зрения истории открытия химических элементов периодическая таблица, ячейки которой занимают флаги стран, в которых были открыты соответствующие элементы. Важная деталь: речь именно про место открытия, а не про национальность ученых-первооткрывателей [13].

Филателистическая таблица. Ее создателем является Ларри Фрэнч (профессор Химии университета Св. Лоуренса, США), который в своей таблице представил каждый химический элемент определенной маркой [4].

Вариант таблицы химических элементов, называемый «Дань стихии», показывает в соответствующей ячейке определенный спектр света, который отражает тот или иной химический элемент [14].

В 2018 году Гран-при фотоконкурса таблиц Д.И. Менделеева, посвященному Международному году Периодической таблицы химических элементов, получила работа Архаровой Н.А., Орехова А.С., Орехова А.С. (ИК РАН, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Фрязино), которые создали самую маленькую таблицу химических элементов – «Нанотаблицу» [4].

Итак, на данный момент известно много вариантов таблиц химических элементов, различающихся размещением отдельных групп элементов-аналогов, способом отображения периодического закона. Однако большинство этих таблиц, оттеняя периодичность изменения тех или иных свойств элементов и их соединений, ничего принципиально нового не вносят в конструкцию периодической системы. А различные занимательные таблицы, как правило, затрагивают какой-то один определенный аспект, например, где обнаружен, или кем.

Какой бы вариант системы мы не использовали, главное, что это графическое отражение фундаментального закона природы – Периодического закона химических элементов, сформулированного Д.И. Менделеевым.

## Литература

1. Академик. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1132392> (дата обращения: 10.02.2019).
2. Википедия. Альтернативные периодические таблицы. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 22.01.2019).
3. Карапетьянц М.Х. Введение в общую химию. М.: Высшая школа, 1980. 256 с.

4. Нанометр. Нанотехнологическое сообщество. URL: [http://www.nanometer.ru/2019/02/13/1550068063217\\_529354.html](http://www.nanometer.ru/2019/02/13/1550068063217_529354.html) (дата обращения: 17.02.2019).
5. Политех. Периодические таблицы. URL: <https://polymus.ru/ru/news/news/123566-periodicheski-tablitsy/> (дата обращения: 26.02.2019).
6. Помни своих. Таблица Менделеева открытие, интересные факты. URL: <https://pomnisvoih.ru/interesno/tablitsa-mendeleeva-otkrytie-interesnye-fakty-foto.html> (дата обращения: 22.02.2019).
7. Семишин В.И. Периодическая система химических элементов Д.И.Менделеева. М.: Химия, 1972. 188 с.
8. Степин Б.Д., Цветков А.А. Неорганическая химия. М. Высшая школа, 1994. 608 с.
9. Фадеев Г.Н., Лебедев Ю.А. Периодический закон: история и современность // Химия в школе. 2019. №1. С. 71-78.
10. Шило Н.А., Данков А.В. Фенотипическая система атомов в развитие идей Д.И.Менделеева // «Академия Тринитаризма», М., Эл. № 77-6567, публ.14630, 09.11.2007.
11. Якушко С.И. «Фибоначчиевая» закономерность в периодической системе элементов Д.И. Менделеева // Журнал русской физической мысли. 2010. №1-12. С. 12-14.
12. lenta.ru. URL: <https://lenta.ru/news/2009/10/07/mendeleev/> (дата обращения: 05.03.2019).
13. Livejournal. URL: <https://morislevran.livejournal.com/154432.html> (дата обращения: 05.03.2019).
14. The Chemogenesis. URL: [https://www.meta-synthesis.com/webbook/35\\_pt/pt\\_database.php](https://www.meta-synthesis.com/webbook/35_pt/pt_database.php) (дата обращения: 06.03.2019).
15. UniEducation. URL: <https://dp-adilet.kz/poputki-klassifikacii-ximicheskix-elementov-otkrytie-eriodicheskogo-zakona/> (дата обращения: 06.03.2019).
16. Verimag. URL: <http://verimag.ru/proekty.html> (дата обращения: 01.03.2019).

**О.В. Котов,**  
Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 1 курс,  
oleg79002230821@yandex.ru

Научный руководитель:  
**Е.В. Миренкова,**  
Смоленский государственный университет,  
кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры экологии и химии

*УДК 54.021*

## **НОВЫЕ ИМЕНА В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Ключевые слова:* элементы № 115-118 Периодической системы, синтез, свойства, наименование.

*Аннотация:* статья посвящена синтезированным относительно недавно химическим элементам с порядковыми номерами 115-118. Рассматривается история их получения, свойства и происхождение названий.

Некоторые химические элементы не встречаются в природе, и получить их можно только искусственным способом. Это элементы с атомными номерами больше 92, расположенные в Периодической системе элементов за ураном. Эти элементы радиоактивны, и большинство из них существуют только в лабораторных условиях в виде нескольких атомов в течение долей секунд.

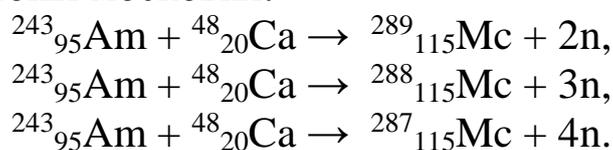
Особый интерес представляют химические элементы, синтезированные относительно недавно и занимающие последние места в Периодической системе. Необходимо отметить, что получение этих элементов является результатом коллаборации, или сотрудничества, ученых нескольких стран. Только благодаря совместной деятельности исследовательских лабораторий различных стран, подкрепленной соответствующей материальной базой, возможно достижение подобных результатов.

Одним из таких новых элементов является сверхтяжелый синтетический элемент московий (символ Mc, атомный номер – 115), ранее имевший временные названия унунпэний (Uup) или эка-висмут.

Московий впервые был получен в 2003 году совместной командой российских и американских ученых в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в российском городе Дубна. Однако на официальное внесение элемента в таблицу Менделеева ушли 12 лет. Лишь в декабре 2015 года московий был признан Объединенной рабочей группой международных научных организаций IUPAC/IUPAP одним из четырех новых элементов. А 28 ноября 2016 года элемент получил официальное название в честь Московского региона, в котором находится ОИЯИ [10].

Интересно, что поступало предложение переименовать московий в честь скончавшегося в 2015-ом от агрессивной формы рака бас-гитариста рок-группы Motorhead Йена Килмистера. Однако для наименований химических элементов существуют определенные правила, согласно которым элементы могут называться в честь астрономических объектов, камней, местностей, имен ученых, собственных свойств, мифологических героев и концепций. Поскольку рок-музыкантов в данном списке нет, петиция была отклонена, и московий сохранил свое название [4].

Изначально, когда объявлялось о планах синтезировать этот элемент, заявлялось, что его получают путем ионной бомбардировки калифорния. Однако опыты с калифорнием потерпели неудачу. Ученым пришлось изменить объект воздействия и предпринять несколько попыток, чтобы добиться успеха. В результате московий был получен из америция, также добытого искусственным путем. Ядерные реакции по получению москovieя основаны на бомбардировке америция тяжелыми ионами кальция, которые разгоняют на циклотроне. При этом образуются изотопы москovieя:



На сегодня синтезировано около 100 атомов московия с массовыми числами от 287 до 290 [10].

Изучить свойства полученного металла на практике почти невозможно из-за малочисленности полученных атомов и нестабильности всех известных изотопов. Изотоп, признанный самым устойчивым, имеет период полураспада в 156 миллисекунд. Следовательно, свойства московия можно изучать только теоретически: ученые опираются на формулы и установленные наукой закономерности. При этом в химическом плане московий чаще сравнивают не с висмутом (с которым он входит в одну группу периодической системы), а с таллием, внешне похожим на щелочные металлы.

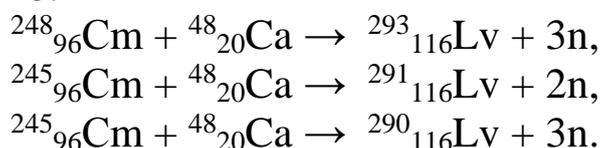
Окислительные свойства 115-го элемента сведены к минимуму. Московий активно взаимодействует с воздухом, моментально окисляясь. Предполагаются его реакции с галогенами при высоких температурах. В этом случае, поскольку большинство галогенов являются сильными окислителями, вместо степени окисления +1 московий будет демонстрировать степень окисления +3, напоминая соли висмута.

Теоретически грамм московия будет стоить сотни тысяч долларов. Однако ни предложений, ни покупателей пока нет.

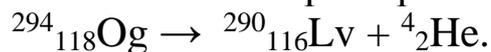
Первые сообщения о синтезе следующего элемента, полученного искусственным путем, элемента №116, имеющего рабочие названия унунгэксий (Uuh) или эка-полоний, появились в 1999 году в Беркли (США). Однако проведенные в США эксперименты не были признаны удачными, поскольку синтез по предложенной методике не был подтвержден ни одной лабораторией в других странах.

Название 116-му элементу дано в честь Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (США), принимавшей участие в его открытии, и официально утверждено в мае 2012 года [2].

Впервые ливерморий был успешно синтезирован в июне 2000 года российскими учеными из ОИЯИ при бомбардировке кюрия ионами кальция-48:



Образуется изотоп элемента 116 и при  $\alpha$ -распаде оганесона:

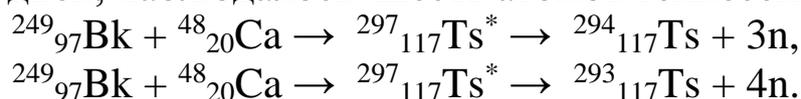


Все полученные изотопы чрезвычайно неустойчивы и, претерпевая  $\alpha$ -распад, образуют изотопы флеровия.

Предполагают, что в соединениях ливерморий будет проявлять степени окисления -2, +2, +4. Вполне вероятно, что степень окисления +6 для него будет невозможна. Соединения со степенью окисления +4 будут проявлять сильные окислительные свойства.

Следующему, 117 элементу, было присвоено временное название унунсептий (Uus) или э́ка-аста́т, которое после подтверждения открытия было заменено на постоянное «теннессин». Название это было дано в знак признания вклада американского штата Теннесси, в том числе Окриджской национальной лаборатории, находящейся на его территории, в исследования сверхтяжелых элементов [3]. Американские ученые наработали в достаточном количестве берклий, необходимый для синтеза теннессина. Поскольку период полураспада берклия 320 дней, все необходимые эксперименты учеными проводились в достаточно короткие сроки.

В апреле 2010 года было сообщено об успешном итоге исследований: в двух сериях экспериментов, каждая из которых длилась 70 дней, наблюдалось шесть атомов теннессина.



Полученные изотопы теннессина имели сравнительно большую устойчивость (7 и 31 мс), что подтверждает теорию о существовании острова стабильности в области сверхтяжелых ядер [9].

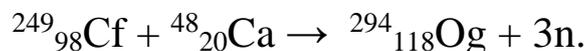
Из-за неустойчивости теннессин претерпевает ряд альфа-распадов, при котором зафиксировано образование элементов с атомными номерами 115 и 113.

Теннессин, следуя в ряду галогенов после астата, тем не менее практически не будет образовывать двухатомные молекулы и почти не сможет проявлять окислительную способность ввиду большого удаления электронов от ядра. Вероятно, он станет первым из галогенов, восстановительная способность которого будет сильнее окислительной. Предполагается, что в отличие от

остальных галогенов, наиболее устойчивой степенью окисления теннессина будет +1.

Для элемента с атомным номером 118 сотрудничающие команды авторов его открытия из ОИЯИ (Россия) и Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса (США) предложили название оганесон и символ Og. Предложение следует традиции оказания чести и отражает признание новаторского вклада российского профессора Юрия Цолаковича Оганесяна в исследование трансактинидных элементов [7]. Это второй элемент, названный именем еще здравствующего человека, после сиборгия (Sg), названного в 1997 году в честь живого Гленна Сиборга. Кроме того, окончание -он в названии элемента свидетельствует о его принадлежности к благородным газам – группе элементов, в которую также входят гелий (He), неон (Ne), аргон (Ar), криптон (Kr), ксенон (Xe), радон (Rn).

Решающие эксперименты по синтезу оганесона проводились на ускорителе элементарных частиц в феврале-июне 2005 года в подмосковной Дубне. Ядро нового элемента образовалось в результате «бомбардировки» ионами изотопа кальция-48 мишени из калифорния:



Оганесон не является газом в привычном понимании этого слова. В «размазанном» состоянии электронные облака оганесона легко поляризуются, следовательно, атомы элемента будут связываться друг с другом вандерваальсовыми силами. Вместо того чтобы отскакивать друг от друга, как в типичных газах, атомы оганесона при комнатной температуре, вероятно, будут стремиться слипнуться и образовать твердое вещество.

Предположительно, оганесону будет присуща окислительно-восстановительная двойственность. Он будет способен не только легко окисляться, но и сам будет служить окислителем для сильных восстановителей, проявляя степень окисления –1. Оганесон – неинертный благородный газ. Из-за необычного распределения электронов он будет способен легко отдавать и принимать электроны, а значит, должен быть химически реактивным.

Приоритет России и творческого коллектива во главе с академиком Ю.Ц. Оганесяном способствует формированию

авторитета нашей страны на международном уровне, а популяризация научных достижений отечественных ученых придает новый импульс повышению интереса к науке химии.

## Литература

1. История синтеза сверхтяжелых элементов. URL: <https://ria.ru/20111201/503670512> (Дата обращения 09.03.2019).
2. Ливерморий. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1703074> (Дата обращения 08.03.2019).
3. Медведев Ю.Н. Новые имена в химии: нихоний, московий, теннессин, оганессон. // Химия в школе. 2016. №10. С. 6-10.
4. Московий элемент. Свойства, добыча, применение и цена москoviya. URL: <https://tvoi-uvelirr.ru/moskovij-element-svoystva-dobycha-primenenie-i-cena-moskoviya/> (Дата обращения 07.03.2019).
5. Мустафин Д.И., Дж. Джанинотто. Новые элементы Периодической системы Д.И. Менделеева. // Химия в школе. 2016. №3. С. 6-8.
6. Оганесон – как странный сон. URL: <http://batrachospermum.ru/2018/07/bizzare-oganesson/> (Дата обращения 10.03.2019).
7. Пресс-релиз Объединенного института ядерных исследований. URL: <http://www.jinr.ru/posts/priznan-prioritet-v-otkrytii-novyh-himicheskikh-elementov-113-115-117-i-118/> (Дата обращения 09.03.2019).
8. Теннессин. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Теннессин> (Дата обращения 08.03.2019).
9. Теннессин. URL: [http://www.kontren.narod.ru/x\\_el/info117.htm](http://www.kontren.narod.ru/x_el/info117.htm) (Дата обращения 07.03.2019).
10. 115 элемент таблицы Менделеева: характеристика. URL: <http://fb.ru/article/346667/element-tablitsyi-mendeleeva-harakteristika> (Дата обращения 07.03.2019).

**Д.С. Добросовестная,**  
Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 1 курс,  
ddobrosovestnaya@mail.ru

Научный руководитель:  
**О. Д. Фесюнова,**  
Смоленский государственный университет,  
ст. пр. кафедры географии

УДК 54.3

## **СООТНОШЕНИЕ НАЗВАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И НАЗВАНИЙ МИНЕРАЛОВ**

*Ключевые слова:* химический элемент, минерал, минералогия, таблица Менделеева, геохимия.

*Аннотация:* В статье рассказывается о взаимосвязи химических элементов и минералов, раскрываются основные понятия по теме исследования. Говорится об открытии некоторых химических элементов, которые своим названием обязаны минералам, из которых были впервые получены.

Таблица Менделеева отражает классификацию химических элементов и зависимость их свойств от заряда атомного ядра. Она является графическим выражением периодического закона, открытого русским учёным Менделеевым Дмитрием Ивановичем в 1869 году. Химические элементы, составляющие таблицу, являются фундаментом для всего живого и неживого. Они входят в состав минералов, слагающих земную кору.

Минералы это – природные образования, состоящие из одного или нескольких химических элементов и обладающие определенными химическими и физическими свойствами. Первые упоминания о минералах встречаются в книге «О камнях» греческого философа и естествоиспытателя Теофраста (372-287 гг. до н.э.), в которой он описал всего 16 минералов. К средним векам было известно уже сотни минералов, к XVIII и XIX векам

количество известных минералов перевалила за тысячу. XX век принес новые открытия в минералогии, и сейчас нам известно более пяти тысяч минералов [1]. В глобальном масштабе, химические элементы составляют земную кору и другие внутренние оболочки Земли, изучением химического состава земной коры, миграциями элементов в ней занимается геохимия.

Минералов к настоящему времени открыто большое количество, более 5000 видов, каждый из них имеет свое название. Названия минералов имеют разную этимологию, например они могут быть названы в честь известных ученых, как правило геологов (билибинит, в честь Ю.А. Билибина), по месту их первого обнаружения (азовкинит – на берегах Азовского моря, алтаит – на Алтае), по цвету (лазурит – лазоревый, оливин – оливково-зеленый), по свойствам (флюорит – флюоресценция) и т.д.

Особый интерес у нас вызывала связь между названиями химических элементов и минералов. Во-первых, вопреки ожиданиям, оказалось, что в большинстве случаев не минералы названы в честь химических элементов, а наоборот, химические элементы по минералам. Возможно, это объясняется тем, что минералы как готовые к использованию природные образования доступны для человека издавна, и их изучение с целью использования началось значительно раньше, чем исследование их химического состава.

Проанализировав различные Интернет-ресурсы по вопросу исследования, изучив этимологию названий химических элементов, мы нашли несколько подтверждений тому, что минералы дали названия впервые открываемым химическим элементам [2,3,4].

Химический элемент Барий и минерал Барит. Минерал Барит был обнаружен шведскими химиками К.В. Шееле и Ю.Г. Ганом в 1774 году из тяжелого шпата ( $BaSO_4$ ) с греческого «барис» переводится – тяжелый. В 1808 году из него путем электролиза выделили новый металл названный барием.

Химический элемент Кремний и минерал Кремень. Минерал кремень получил свое название от старославянского слова «кремень» - твердый камень. В 1823 году шведским химиком Я. Берцелиусом из  $SiF_4$  был получен чистый кремний который назвали «силициум», от латинского *silix* – камень, скала.

Химический элемент Цирконий и минерал Циркон. Элемент цирконий впервые выделил в виде диоксида немецкий химик М.Г. Клапрот в 1789 году, а в чистом виде в 1824 году Берцелиусом. Название произошло от персидского «царгун» - золотистого цвета, в такие цвета окрашена одна из драгоценных разновидностей циркона – гиацинт.

Химический элемент Вольфрам и минерал Вольфрамит. Элемент вольфрам был выделен из минерала вольфрамита, который был известен еще с XVI века как «волчья пена» – по-немецки «Wolf Rahm». Он сопровождал оловянные руды и мешал выплавке олова.

Химический элемент Бериллий и минерал Берилл. Элемент Бериллий был получен из минерала Берилла. Назван он в честь города Белур (Южная Индия) славящегося месторождениями изумрудов (одной из разновидностей берилла).

Химический элемент Молибден и минерал Молибденит. Элемент Молибден открыли в 1778 (К.В. Шееле), прокаливая молибденовую кислоту, был получен  $\text{MoO}_3$ . В виде металла молибден был впервые получен в 1781 году П. Гьельмом путем восстановления оксида углём, правда, он был загрязнен примесями. В чистом виде был получен в 1817 году Берцелиусом путем восстановления оксида водородом. Само название пошло от др.-греч. означающего «свинец», в связи с тем, что внешне молибденит схож со свинцовым блеском.

Химический элемент Бор и минерал Бура. Бор впервые был получен в 1808 году французами Ж. Гей-Люссаком и Л. Тенаром путем нагревания борного ангидрида  $\text{B}_2\text{O}_3$  с металлическим калием. Название произошло от арабского «бурак», так называли минерал бура (боракс) –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Химический элемент Углерод и горная порода Уголь. Углерод входит в состав угля – осадочная горная порода органического происхождения. Название элемента произошло от латинского Carbo – уголь, термин «углерод» был введен М.Ф. Соловьевым в 1824 году.

Химический элемент Магний и минерал Магнезит. Латинское название элемента произошло от названия древнего города в Малой Азии – Магнезия, рядом с которым были обнаружены залежи минерала магнезита.

Химический элемент Стронций и минерал Стронцианит. Минерал впервые был обнаружен в рудниках возле деревни Стронтиан (Шотландия), отсюда и пошло название. Вначале в 1787 году У. Крюкшенком и А. Кроуфордом был обнаружен содержащийся в нем оксид стронция, а в 18-8 году Х. Дэви был стронций был открыт в чистом виде.

Химический элемент Йттрий и минерал Итербит (сейчас Гадолинит). Элемент в 1724 был выделен в виде оксида из минерала итербит Ю. Гадолиным. Название он получил в честь населенного пункта на одном из островков Стокгольмского архипелага – Йттербю, здесь в заброшенных карьерах он и был найден.

Химический элемент Самарий и минерал Самарскит. Элемент был обнаружен спектроскопически в 1878 году французскими химиками в минерале самарскит –  $(Y, Ce, U, Fe)_3(Nb, Ta, Ti)_5O_{16}$ , название получил в честь В.Е. Самарского-Быховца – русского горного инженера. В чистом виде металл выделили только в начале XX века.

Химический элемент Литий. Был обнаружен И. Арфведсоном в 1817 году в некоторых минералах – петалите  $(Li, Na)[Si_4AlO_{10}]$ , сподумене  $LiAl[Si_2O_6]$ , лепидолите  $K_2Li_3Al_5[Si_6O_{20}](F, OH)_4$ . Сначала назывался «лителион», потом Берцелиус предложил современное название, оно происходит от греческого «литос» – камень. В металлическом виде впервые был получен в 1818 году Г. Дэви.

Так же можно упомянуть химический элемент Свинец и минерал Галенит  $PbS$ , который часто называют Свинчак в связи с его химическим составом.

Кроме того, можно выделить отдельную группу минералов класса Самородные элементы, которые представлены одним химическим элементом, в связи с этим у них совпадают названия, например, золото, платина, серебро, сера, медь и т.д.

Таким образом, мы видим, что многие химические элементы, входящие в Периодическую систему Менделеева, составляя земную кору, в частности, разнообразные минералы, обязаны им своим названием.

## Литература

1. Минералогия с основами кристаллографии: учеб. пособие для СПО / В. А. Буланов, А. И. Сизых, А. А. Белоголов под науч. ред. Ф. А. Летникова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2019. 230 с. <https://bibli-online.ru/viewer/mineralogiya-s-osnovami-kristallografii-442205#page/1>.
2. Происхождение названий минералов URL: <http://www.вашехобби.рф/kamni/proisxozhdenie-nazvanij-mineralov> (Дата обращения: 10.03.2019).
3. Происхождения названий химических элементов и терминов. URL: [http://www.xenoid.ru/materials/materials\\_chem/history/name.php](http://www.xenoid.ru/materials/materials_chem/history/name.php) (Дата обращения: 10.03.2019).
4. Происхождение названий химических элементов. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Происхождение\\_названий\\_химических\\_элементов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Происхождение_названий_химических_элементов) (Дата обращения: 14.03.2019).

**Ю.Д. Мещерякова**

Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 2 курс,  
[julia.17.04@yandex.r](mailto:julia.17.04@yandex.r)

Научный руководитель:

**О.А. Ревина**

Смоленский государственный университет,  
кандидат географических наук,  
доцент кафедры географии

*УДК 550.4.01*

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕМНОЙ КОРЕ**

*Ключевые слова:* химические элементы, периодический закон, таблица химических элементов, кларки элементов, изоморфизм.

*Аннотация:* В статье рассматривается влияние, которое оказало открытие периодического закона и построение таблицы химических элементов на развитие геохимии. Описываются основные этапы выявления главных закономерностей содержания химических элементов в земной коре. Рассматривается взаимосвязь между периодическим законом и формами нахождения химических элементов в земной коре.

Открытие Д.И. Менделеевым периодического закона и построение таблицы химических элементов, произошедшие 150 лет назад, имели огромное значение не только для химии. Это дало мощный толчок для развития таких наук, как геология, геохимия, почвоведение и др.

Геологи и геохимики, начиная со второй половины 19 века, активно занимались изучением химического состава минералов и горных пород. Масштабные геологические исследования были проведены известным американским химиком Ф.У. Кларком, который на протяжении многих лет работал в Геологической службе США. Он исследовал химический состав горных пород, распространенных на территории Северной Америки. Кларк обратил внимание на то, что разные горные породы в основном состоят из одних и тех же химических элементов. Статистический анализ химических исследований земной коры показал, что в ней больше всего содержится кислорода, кремния, алюминия, железа, магния, кальция, калия и натрия. Эти химические элементы называют главными, и они составляют основную массу земной коры (99% от общего объема содержания химических элементов). Все остальные химические элементы называются рассеянными, на них приходится всего один процент.

В дальнейшем в выявлении закономерностей содержания химических элементов в земной коре большую роль играла таблица химических элементов Д.И. Менделеева. В начале 20 века норвежский ученый, основоположник геохимии В.М. Гольдшмидт, впервые обратил внимание на взаимосвязь между строением атомного ядра и ионными радиусами химических элементов с содержанием их в горных породах и минералах, а также на способность их к миграции. Гольдшмидт сделал вывод о том, что содержание химического элемента в земной коре зависит

от порядкового номера в таблице химических элементов. Он определил, что по мере возрастания порядкового номера, а соответственно и увеличения атомной массы, содержание элементов в земной коре уменьшается. Этот вывод подтверждает тот факт, что главные элементы, которые слагают основную массу земной коры, имеют небольшие порядковые номера. Можно сказать, что содержание химических элементов, как правило, уменьшается по мере усложнения строения атомного ядра. Конечно, для этой закономерности есть и исключения, например литий, бериллий и бор с порядковыми номерами соответственно 3, 4 и 5 имеют редкое распространение не только в земной коре, но и в других оболочках планеты.

Более того, используя таблицу Менделеева, В.М. Гольдшмидт создал свою классификацию, согласно которой все элементы делятся на пять классов: атмофильные, сидерофильные, литофильные, халькофильные и редкие или отсутствующие в природе элементы (рис. 1). К каждому классу относятся элементы, которые концентрируются в определенной среде. Атмофильные элементы характеризуются газообразным состоянием и накапливаются в атмосфере. Для них чаще всего характерно нахождение в природе в элементарном состоянии. К сидерофильным относятся элементы в основном VIII группы таблицы Менделеева. По мнению В.М. Гольдшмидта – это элементы, слагающие ядро планет. Ярким представителем этой группы является железо. Литофильные элементы входят в состав силикатов, самых распространенных минералов планеты, а также в состав оксидов, галогенидов, карбонатов и других классов минералов. Поэтому именно эти элементы составляют основную массу земной коры и литосферы. Халькофильные элементы объединяют элементы сульфидных руд, то есть элементы побочных групп (А-групп в современной классификации) таблицы Менделеева. К ним относятся S, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, Bi, Po. Эти элементы способны накапливаться при определённых условиях, с которыми связано образование рудных месторождений. Таким образом, В.М. Гольдшмидт, используя периодическую систему химических элементов, систематизировал химические элементы в зависимости от их встречаемости в природе, выявил основные закономерности

распределения химических элементов в зависимости от строения их атомов и ионов, что имело большое значение для дальнейшего развития геохимии и геохимии ландшафтов.

	1																	18
1	1 H	2																2 He
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	(43) Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	57-71 Lan	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89-103 Act	(104) Rf	(105) Db	(106) Sg	(107) Bh	(108) Hs	(109) Mt	(110) Ds	(111) Rg	(112) Cn	(113) Uut	(114) Fl	(115) Uup	(116) Lv	(117) Uus	(118) Uuo
Лантаноиды		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	(61) Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
Актиноиды		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	(93) Np	(94) Pu	(95) Am	(96) Cm	(97) Bk	(98) Cf	(99) Es	(100) Fm	(101) Md	(102) No	(103) Lr		

**Обозначения:**

Атмофильные	Халькофильные	Литофильные	Сидерофильные	редкие и отсутствующие в природе
-------------	---------------	-------------	---------------	----------------------------------

Рис. 1. Гольшмидтовская классификация в периодической системе элементов.

В начале 20 века кроме Гольшмидта особенности распределения химических элементов в земной коре изучали и другие ученые. В 1914 г. итальянский физик Дж. Оддо выявил еще одну закономерность между содержанием химического элемента в земной коре и положением в таблице Менделеева. Он установил, что в земной коре больше содержится элементов, которые имеют

четный порядковый номер. Независимо от итальянского ученого эту же закономерность обнаружил и американец У. Гаркинс. Он сформулировал правило, которое позже получило название правила Оддо–Гаркинса. Согласно этому правилу, из двух соседних элементов таблицы Менделеева содержание в земной коре элемента с четным порядковым номером обычно больше. В качестве доказательства можно провести подсчет четных и нечетных главных элементов земной коры, из которых четных элементов – 86%, а нечетные – 13%.

Еще один важный вопрос, связанный с формами нахождения химических элементов в земной коре, изучался геохимиками и геологами посредством использования данных периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева.

В.М. Гольдшмидт сформулировал концепцию, согласно которой в кристаллохимических структурах ионы ведут себя как жесткие сферы, что позволило ему считать радиус иона постоянной величиной. В соответствии с этим он определил, что в кристаллах минералов радиусы анионов больше, чем радиусы катионов, они располагаются таким образом, что «крупные» анионы заполняют пространство кристалла, а между ними встраиваются «мелкие» катионы. Получается, что в конкретные минералы с определенной кристаллохимической структурой могут войти только ионы с определенным размером радиуса. Взаимное замещение ионов в кристаллической структуре благодаря близости их радиусов называется изоморфизмом. Согласно правилу Гольдшмидта, изоморфизм возможен только между ионами, размер которых различается не больше чем на 10 – 15 %. Второе условие изоморфизма формулируется следующим образом: твёрдые растворы возможны, если разница электроотрицательностей атомов меньше 0,4. Благодаря этим особенностям минералы и горные породы избирательно задерживают химические элементы, концентрация которых не так велика для образования самостоятельных минералов.

Явление изоморфизма позже изучалось и советскими учеными. В кристаллах с ионным типом химической связи выделяют два вида изоморфизма: изовалентный и гетеровалентный. Основатель советской геохимической школы А.Е. Ферсман выявил, что в периодической системе элементов

Менделеева при движении вниз по столбцам и вправо по строкам, то есть по диагонали, размер ионов увеличивается и, соответственно, на элементы по отношению друг к другу действует два противоположно направленных фактора. С одной стороны увеличивается заряд, а с другой – уменьшается радиус иона. В итоге получается, что по диагонали радиус иона изменяется на 6 – 10 %, что подходит для гетеровалентного изоморфизма (рис 2).

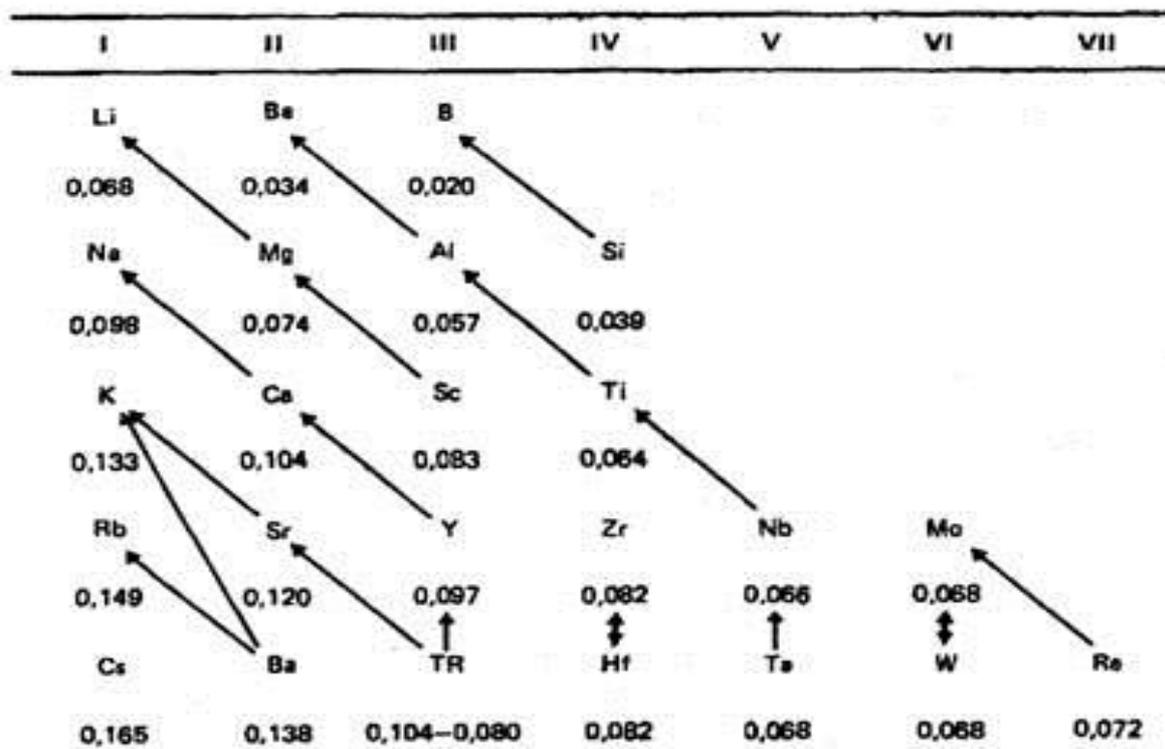


Рис. 2. Диагональные ряды изоморфизма в периодической системе Д. И. Менделеева

С учетом этих особенностей А.Е. Ферсман сформулировал правило диагонального изоморфизма. «Элементы, расположенные в клетках по диагонали, ниже и правее, часто гетеровалентно замещают ионы. Исключением являются элементы 6-го ряда, радиус которых благодаря лантаноидному сжатию сокращается до величин, наиболее подходящих для изоморфизма». Такие диагональные ряды Ферсмана определяют многообразие минералов и синтетических фаз, возникающих при изоморфном замещении в рядах Be - Al - Ti - Nb, Li - Mg - Sc, Na - Ca - Y - Zr(Th).

Исследования химического состава минералов и горных

пород, изучение особенностей распределения и выявление форм нахождения химических элементов в земной коре внесли большой вклад в развитие геологии и геохимии, позволили открыть многие природные закономерности и явления. В этом, несомненно, весомую роль сыграла Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева, полуторавековой юбилей которой отмечается в этом году.

### Литература

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высш. шк., 1998. 413 с.
2. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1979. 422 с.
3. Ферсман А. Е. Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.
4. Ферсман А. Е. Избранные труды: В 7 т. М.: Изд-во АН СССР, 1952–1962: Т. 1.

**Ю.Р. Девина,**

Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 2 курс,  
devina.julia1999@mail.ru

Научный руководитель:

**О.Д. Фесюнова**

Смоленский государственный университет,  
ст. преподаватель кафедры географии

УДК 54.3

## **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИНЕРАЛОВ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ИХ СВОЙСТВА**

*Ключевые слова:* минералы, свойства минералов, химическая классификация минералов, химические элементы, минералогия.

*Аннотация:* В статье рассказывается о минералах, их многообразии и классификациях. Говорится о непосредственном влиянии химического

состава минералов, на их свойства, такие как цвет, соленость, магнитность, радиоактивность и другие.

Минералы – это твердые природные образования, обладающие определенным химическим составом и структурой. Химические элементы, входящие в состав минералов, обуславливают большинство их физических и химических свойств. Подробно минералы и их свойства изучает наука минералогия, уходящая своими корнями в глубокую древность.

В настоящее время известно более трех тысяч минералов, которые классифицируют по различным основаниям. Наиболее важной и распространенной классификаций является классификация по химическому составу. В одной из ее трактовок все минералы подразделяют на девять классов [1].

Самородные элементы – встречаются в свободном виде: медь (Cu), серебро (Ag), золото (Au), платина (Pt), алмаз (C), графит (C), сера (S).

Сернистые соединения (сульфиды) – представляют собой соединения катионов с серой: халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ ), киноварь ( $\text{HgS}$ ), реальгар ( $\text{AsS}$ ).

Галоидные соединения (хлориды, фториды) – представляют собой соединения катионов с хлором или с фтором – флюорит ( $\text{CaF}_2$ ), галит ( $\text{NaCl}$ ), сильвин ( $\text{KCl}$ ).

Оксиды и гидроксиды – соединения элементов с кислородом или гидроксогруппой: корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), кварц ( $\text{SiO}_2$ ), опал ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

Карбонаты – соли угольной кислоты: кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), сидерит ( $\text{FeCO}_3$ ), магнезит ( $\text{MgCO}_3$ ).

Сульфаты – соли серной кислоты: ангидрит ( $\text{CaSO}_4$ ), барит ( $\text{BaSO}_4$ ), гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

Фосфаты – соли ортофосфорной кислоты: монацит ( $(\text{Ce,La,Nd,Th})[\text{PO}_4]$ ), апатит ( $\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_3(\text{F, Cl, OH})$ ).

Вольфраматы – соли вольфрамовых кислот: вольфрамит ( $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$ ).

Силикаты – соли кремниевой кислоты. Выделяют островные силикаты: топаз ( $\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F,OH})_2$ ), циркон ( $\text{ZrSiO}_4$ ); кольцевые силикаты: берилл ( $\text{Al}_2[\text{Be}_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})]$ ), родонит ( $(\text{Mn,Fe,Mg,Ca})\text{SiO}_3$ ); цепочечные силикаты: гиперстен ( $(\text{Fe,Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$ ), диопсид

(CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>); ленточные силикаты: тремолит (Ca<sub>2</sub>Mg<sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>), нефрит (Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe)<sub>5</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>); листовые силикаты: тальк (Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>), хлорит (Mg,Fe)<sub>3</sub>(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>(Mg,Fe)<sub>3</sub>(OH)<sub>6</sub>).

Десятый класс объединяет минералы органического происхождения, образованные при участии живых организмов – янтарь, жемчуг и т.д.

Велика роль химических элементов в проявлении определённых свойств минералов. От химического состава зависит цвет, запах, вкус минерала, его радиоактивность, токсичность и магнитность.

*Цвет* минерала может быть обусловлен особенностями химического состава, присутствием хромофоров – носителей определённой окраски. Известны многие элементы-хромофоры. Они поглощают ту или иную часть светового спектра, а непоглощённая часть спектра придаёт минералу определённый цвет. Хром валентностью (3+) придаёт минералам зелёный цвет (уваровит Ca<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>), а с валентностью (6+) – оранжевый цвет (крокоит PbCrO<sub>4</sub>). Железо с валентностью (3+) придаёт минералам красно-бурые цвета и оттенки (лимонит FeOOH·Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O, сидерит FeCO<sub>3</sub>), а с валентностью (2+) – зелёные цвета (анапаит Ca<sub>2</sub>Fe[PO<sub>4</sub>]<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O). Медь придаёт минералам зелёные (малахит Cu<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>2</sub>) или синие (азурит Cu<sub>3</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>) цветовые оттенки. Марганец даёт оттенки розового (йофортьерит Mn<sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>20</sub>(OH)<sub>2</sub>·8-9H<sub>2</sub>O, родонит (Mn,Fe,Mg,Ca)SiO<sub>3</sub>), серого (пиролюзит MnO<sub>2</sub>), пурпурного (пурпурит Mn[PO<sub>4</sub>]), чёрного и тёмно-коричневого (вольфрамит (FeMn)WO<sub>4</sub>) цветов. Титан придаёт буро-красные, чёрные оттенки (рутил TiO<sub>2</sub>, ильменит FeTiO<sub>3</sub>). Ванадий придаёт минералам голубоватые оттенки (кавансит Ca(VO)Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>·4H<sub>2</sub>O). Кобальт придаёт розовый оттенок (эритрин Co<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O), никель – зелёный и жёлтый (аннабергит Ni<sub>3</sub>[AsO<sub>4</sub>]<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O, гарниерит (Ni,Mg)<sub>4</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>15</sub>(OH)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, миллерит NiS). Молибден придаёт минералам серый и сине-серый цвета (молибденит MoS<sub>2</sub>) [4].

*Запах* минерала зависит от химического состава и проявляется, когда минерал подвергают нагреванию, механическому воздействию, а также воздействию каких-либо растворителей. Одним из примеров служит сера (S): при

поджигании она издаёт запах сернистого газа. Запах сероводорода возникает при трении марказита  $\text{FeS}_2$ , пирита  $\text{FeS}_2$ .

При механических повреждениях минералы, содержащие мышьяк, издают чесночный запах. Это арсенопирит  $\text{Fe}[\text{AsS}]$  и скородит  $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Ядовитый запах при горении образует клиноклаз  $\text{Cu}_3[\text{AsO}_4](\text{OH})_3$ .

Антозонит имеет состав  $\text{CaF}_2$ . Отличительной особенностью минерала является наличие многочисленных включений, в том числе элементарного фтора, который при разрушении кристаллов реагирует с кислородом воздуха, образуя озон, что и является причиной характерного для этого минерала запаха.

При трении кусочков фосфорита друг о друга появляется запах жженой кости.

Специфическим глинистым запахом обладает минерал каолинит  $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$  при смачивании его водой.

*Вкусовые* ощущения вызывают только хорошо растворимые в воде минералы. Вяжущий или едкий вкус имеет мелантерит  $\text{Fe}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , горький – сильвин  $\text{KCl}$ . Кислый вкус имеет натриевая селитра  $\text{NaNO}_3$ , а калиевая селитра  $\text{KNO}_3$  кислоторького вкуса. Солёный вкус имеет всем хорошо известный галит  $\text{NaCl}$ . Гептагидрат сульфата магния  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  имеет горький вкус. Карналлит  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – очень солёного, жгучего вкуса.

Свойство минералов *притягиваться магнитом* или отклонять магнитную стрелку компаса, также является одним из диагностических признаков. Магнитностью в той или иной степени обладают большинство железосодержащих рудных минералов. Если у таких минералов магнитность выражена слабо, их называют парамагнитными минералами (пироксены, ильменит  $\text{FeTiO}_3$ ). Сильной магнитностью обладают магнетит  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , титаномагнетит  $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$  и пирротин  $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$ . Некоторые минералы проявляют способность намагничиваться под воздействием электрического поля. Это пирит  $\text{FeS}_2$ , халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ . Существуют минералы, которые отталкиваются магнитом – самородный висмут  $\text{Bi}$  [3].

*Радиоактивностью* называется превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого с излучением элементарных частиц. Радиоактивностью обладают

минералы, содержащие радиоактивные элементы. К природным радиоактивным элементам относятся уран, торий, радий. У минералов, в состав которых входят радиоактивные элементы, с течением времени разрушается кристаллическая решетка, изменяются химические и физические свойства (твердость, плотность, блеск). Эти свойства называются метамиктными. Радиоактивность применяется при поиске урановых руд и для определения абсолютного возраста горных пород. Радиоактивными минералами являются торбернит  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , абернатиит  $\text{K}[\text{UO}_2][\text{AsO}_4]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , браннерит (U, Ca, Th, Y)  $(\text{Ti, Fe})_2\text{O}_6$ , торит  $\text{ThSiO}_4$ .

В определённых сочетаниях химические элементы могут придавать минералам *токсичность*. Токсичность – это свойство некоторых химических соединений и веществ биологической природы при попадании в определённых количествах в живой организм вызывать нарушение его физиологических функций, в результате чего возникают симптомы отравления, а при тяжёлых отравлениях – смерть. Из наиболее известных токсичных элементов, которые могут содержать минералы, являются ртуть, таллий, свинец и мышьяк. Так, халькантит  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  из-за своего химического состава является одним из наиболее токсичных. Во время контакта он легко проникает через кожу и нарушает работу внутренних органов.

Минерал колорадоит  $\text{HgTe}$  содержит в себе два опаснейших элемента – ртуть и теллур. При нагревании и воздействии на него химическим путём выделяются опасные пары. Противопоказан контакт с кожными покровами.

Гутчинсонит  $(\text{Pb, Tl})\text{S} \cdot \text{Ag}_2\text{S} \cdot 5\text{As}_2\text{S}_5$  содержит в своём составе таллий, свинец и мышьяк. Противопоказан контакт с кожными покровами – может привести к смерти.

Арсенопирит  $\text{FeAsS}$  является сульфидом железа и мышьяка. При нагревании или при каком-либо изменении минерала он начинает выделять чесночный запах мышьяка, который исходит от смертельно токсичных, канцерогенных паров, вдыхание которых может привести к летальному исходу. Прикоснувшись руками к арсенопириту можно гарантировать, что ядовитый состав, вероятнее всего, попадёт внутрь организма.

К аурипигменту  $As_2S_3$  прикасаться запрещено из-за невероятно канцерогенного и токсичного мышьяка в его составе.

Киноварь  $HgS$  является самым токсичным минералом из существующих на Земле и подвергаемых обработке. Человек, стоящий рядом, может начать испытывать судороги, терять чувствительность и даже умереть [2, 4].

Таким образом, разнообразие сочетаний химических элементов в минералах совместно с их структурными особенностями приводят к тому, что существует огромное количество минералов, непохожих друг на друга и обладающих разнообразными свойствами. При этом большое влияние на проявление минералами тех или иных свойств оказывает химический состав. В свою очередь, свойства минералов обуславливают их использование человеком.

## Литература

1. Каденская М.И. Руководство к практическим занятиям по минералогии и петрографии. М.: Просвещение, 1976. 240 с.
2. Камнетека: Самые опасные камни и минералы. URL: <https://kamneteka.com/samyie-opasnyie-kamni-i-mineralyi/> (Дата обращения 09.03.2019).
3. Сарсенбаева А.Н., Байбатша А.Б. Минералы. Горные породы. Компас, геологические карты и разрезы. Методические указания к лабораторным занятиям по общей и исторической геологии. Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2014. 33 с. URL: <https://studfiles.net/preview/2038204/> (Дата обращения 12.03.2019).
4. Справочник по геологии GEOLIB.NET. URL: <https://www.geolib.net/mineralogy/fizicheskie-svoystva-mineralov.html> (Дата обращения 12.03.2019).

**Е.Р. Бочулинская,**  
Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 3 курс,  
holyland.7@bk.ru

Научный руководитель:  
**В.Г. Журова,**  
Смоленский государственный университет,  
кандидат педагогических наук,  
доцент кафедры экологии и химии

УДК 547.022

## **ИОНЫ МЕТАЛЛОВ КАК КОФАКТОРЫ ФЕРМЕНТОВ**

*Ключевые слова:* ферменты, ионы металлов, каталаза, уреазы, церулоплазмин, гексокиназа.

*Аннотация:* в статье речь идет о ферментах – биологических катализаторах белковой природы, многие из которых содержат ионы металлов. Затрагиваются вопросы номенклатуры и классификации ферментов, рассматриваются строение и свойства ферментов, содержащих ионы железа, меди, никеля, магния.

В организме человека обнаружено свыше 70 элементов таблицы Д.И. Менделеева, большинство из которых металлы. Только четыре элемента – натрий, калий, магний, кальций – содержатся в сравнительно больших количествах, т.е. являются макроэлементами. Большинство же биологически активных металлов содержится в организме в очень малых количествах, т.е. являются микроэлементами. К таким металлам относятся хром, марганец, железо, кобальт, медь, цинк и др.

В организме человека при весе 70 кг содержится более 1 кг кальция, 245 г калия, 105 г натрия, 35 г магния, 3 г железа, 2,3 г цинка. Остальные элементы-металлы присутствуют в организме человека в количестве менее 1 г каждый [3, с. 295].

Металлы в виде ионов в живых системах выполняют различные биологические функции, в том числе структурную, например, железо, медь и кобальт входят в состав активных центров многих ферментов. Ионы металлов выполняют также

регуляторную функцию, являясь активаторами ферментов, то есть увеличивают скорость ферментативной реакции. Роль активаторов ферментов чаще всего выполняют ионы натрия, калия, цинка, марганца и др.

Практически все реакции в живом организме протекают с участием ферментов – биокатализаторов белковой природы. Как отмечает доктор химических наук, профессор Е.С. Северин, «среди множества энергетически возможных реакций ферменты избирательно преобразуют реагенты, называемые субстратами, по физиологически полезному пути. Таким образом, они управляет всеми метаболическими процессами организма» [5, с. 75].

Ферменты иначе называют энзимами, а науку о ферментах - энзимологией. Термин «фермент» происходит от латинского *fermentum* – закваска, а «энзим» - от греческого *en* - внутри и *zyme* – дрожжи. Терминология сложилась исторически при изучении процессов, проходящих при спиртовом брожении.

Ферменты по своей химической природе являются белками и могут быть простыми или сложными. Молекулы простых ферментов, например, уреазы, состоят только из остатков аминокислот. Сложные ферменты кроме белковой части, которая называется апоферментом, содержат небелковую часть – кофермент или кофактор. Во многих случаях коферментами являются витамины или их производные, а кофакторами – ионы металлов.

Ферменты являются необычайно мощными катализаторами и имеют ряд общих с небиологическими катализаторами свойств:

1. Ферменты не входят в состав конечных продуктов реакции и выходят из нее, как правило, в первоначальном виде, т.е. они не расходуются в процессе катализа.

2. Ферменты не могут возбудить те реакции, протекание которых противоречит законам термодинамики, они ускоряют только те реакции, которые могут протекать и без них.

3. Ферменты не смещают положения равновесия, а лишь ускоряют его достижение [2, с. 5].

Ферменты обладают и особыми свойствами: они специфичны по отношению к своим субстратам - ускоряют строго определенные химические реакции; оптимальными условиями для их функционирования являются физиологические значения

температуры и pH. Ферменты, катализируя сотни многостадийных реакций, в ходе которых расщепляются молекулы питательных веществ и строятся молекулы, входящие в состав клетки, запасается и преобразуется химическая энергия, действуют в строго определенной последовательности. «Все ферментные системы в клетке функционируют координировано, что обеспечивает гармоническое равновесие между различными метаболическими процессами, необходимыми для поддержания жизнеспособности отдельных клеток и целых организмов» [3, с. 226].

Каждый фермент имеет два названия. Одно название - рабочее, короткое, удобное для повседневного использования. Рабочее название большинства ферментов имеет суффикс «аза», присоединенный к названию субстрата, например, амилаза, уреаза, сахараза, липаза и др. Второе название – систематическое, разработанное Международным союзом биохимии и молекулярной биологии в 1961 г. - применяется для идентификации фермента. Согласно систематической номенклатуре, название фермента однозначно характеризует катализируемую им реакцию, например, D-глицеральдегид-3-фосфат: NAD- оксидоредуктаза. Такое название означает, что субстратом данного фермента является D-глицеральдегид-3-фосфат, тип реакции – окислительно-восстановительная в присутствии кофермента NAD.

Все ферменты разбиты на 6 классов в зависимости от типа катализируемой реакции:

1. Оксидоредуктазы. Катализируют различные окислительно-восстановительные реакции.
2. Трансферазы. Катализируют перенос функциональных групп от одного соединения к другому.
3. Гидролазы. Катализируют реакции гидролиза (расщепления ковалентной связи с присоединением молекулы воды по месту разрыва).
4. Лиазы. Катализируют реакции присоединения какой-либо функциональной группы к органическим соединениям или отщепления от субстратов без участия воды.
5. Изомеразы. Катализируют различные внутримолекулярные превращения с образованием изомерных

форм.

6. Лигазы (синтетазы). Катализируют реакции присоединения друг к другу двух молекул с образованием ковалентной связи [5, с. 80-82].

Более четверти всех ферментов содержат прочно связанные ионы металлов или активны только в их присутствии. Для изучения функций ионов металлов используются различные методы, такие как метод рентгеновской кристаллографии, ядерного магнитного резонанса и др.

В ферментах встречаются ионы калия, натрия, кальция, магния, железа, меди, цинка, марганца, молибдена, кобальта, никеля и др.

Железо – это d-элемент восьмой группы 4 периода Периодической системы химических элементов с порядковым номером 26; относительная атомная масса 55,849. Основные заряды ионов  $2+$  и  $3+$ . Железо относится к тем элементам, биологические функции которых изучены наиболее полно. Железо входит в состав простетических групп более 70 ферментов.

К железосодержащим ферментам принадлежит каталаза. Каталаза – фермент, относящийся к классу оксидоредуктаз, обнаруженный почти во всех живых организмах. Основная его функция – катализировать реакцию разложения перекиси водорода до безвредных для организма кислорода и воды. Каталаза – один из самых быстрых ферментов. Всего одна его молекула способна превращать миллионы молекул перекиси водорода за секунду.

Каталаза имеет большое значение для жизнедеятельности клеток, так как защищает их от разрушения активными формами кислорода. Генетически обусловленная недостаточность каталазы является одной из причин наследственного заболевания у человека. В последнее время получены данные, указывающие, что каталаза способна ускорять не только разложение пероксидов, но и другие реакции, например окисление спиртов.

Каталаза представляет собой гемопротейн, простетической группой которого является гем, содержащий ион двухвалентного железа [4]. Структура гема представлена на рисунке 1.

Молекулярный механизм расщепления перекиси водорода ферментом каталазой пока точно не изучен. Предполагается, что

реакция проходит в два этапа. На первом этапе железо в составе простетической группы каталазы связывается с атомом кислорода перекиси, при этом выделяется одна молекула воды. На втором этапе окисленный гем взаимодействует с другой молекулой перекиси водорода, в результате чего образуется еще одна молекула воды и молекула кислорода.

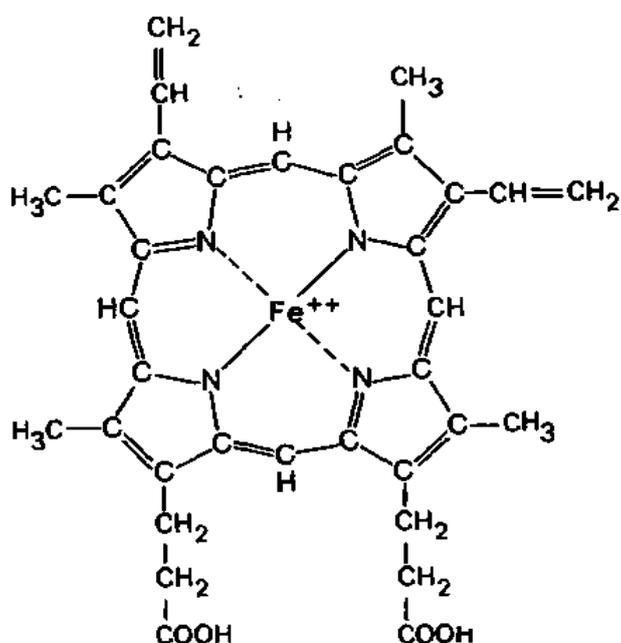


Рис. 1. Структура гема

Благодаря действию фермента каталазы на пероксид водорода его наличие легко определить в исследуемых образцах. Для этого достаточно добавить к исследуемому объекту небольшое количество перекиси водорода и наблюдать за реакцией. О наличии фермента говорит формирование пузырьков кислорода. Эта реакция хороша тем, что не требует никакого специального оборудования или инструментов – ее можно наблюдать невооруженным глазом.

Согласно недавним исследованиям, снижение активности каталазы является одной из возможных причин поседения волос. Перекись водорода постоянно образуется в человеческом организме, однако не приносит вреда – каталаза быстро разлагает ее. Но если уровень этого фермента снижен, очевидно, что не вся перекись водорода разрушается ферментом. Таким образом, она обесцвечивает волосы изнутри, растворяя естественные

красители. Это неожиданное открытие сейчас проверяется исследователями, и, возможно, сыграет роль в разработке препаратов, приостанавливающих поседение волос.

Разлагающее действие фермента каталазы на пероксид водорода нашло применение в пищевой промышленности – с помощью этого фермента из молока удаляется пероксид водорода до приготовления сыра. Еще одно применение – специальные пищевые упаковки, которые защищают продукты от окисления. Каталаза также применяется в текстильной промышленности для удаления пероксида водорода из тканей. Она в небольших количествах используется в гигиене контактных линз. Некоторые дезинфицирующие средства имеют в составе перекись водорода, и каталаза используется для расщепления этого компонента перед повторным использованием линз [6].

Никель – это d-элемент десятой (по устаревшей короткопериодной форме – восьмой) группы, 4 периода Периодической системы химических элементов с порядковым номером 28; относительная атомная масса 58,7. Основные заряды ионов  $2+$  и  $3+$ . Фермент, который содержит ионы никеля – уреазы.

Уреазы – фермент, относящийся к классу гидролаз и катализирующий расщепление мочевины (карбамида) до аммиака и углекислого газа.

Уреазы встречаются приблизительно у 200 видов бактерий, у многих плесеней и у большого числа высших растений. В организме человека и животных уреазы образуются бактериальной флорой.

Уреазы считают простым белком, глобулином. Недавно было установлено, что с молекулой фермента связаны два атома никеля, роль которого в функционировании фермента пока до конца не выяснена. Строение уреазы представлено на рисунке 2.

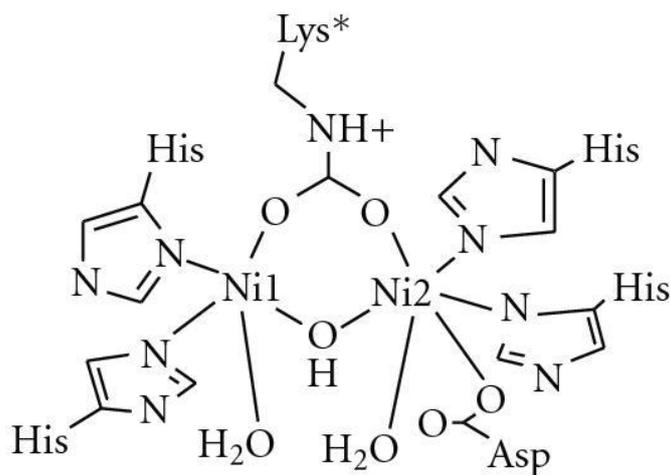


Рис. 2. Строение уреазы

Высокая специфичность уреазы в отношении мочевины позволяет использовать этот фермент для аналитического определения мочевины в моче и крови, что является важным диагностическим тестом при заболеваниях печени и почек.

Уреаза была первым ферментом, полученным в кристаллическом виде. Ее выделил американский биохимик, лауреат Нобелевской премии Джеймс Самнер в 1926 г. [1].

Медь – это d-элемент одиннадцатой группы, 4 периода Периодической системы химических элементов с порядковым номером 29; относительная атомная масса 63,546. Основные заряды ионов 1+, 2+.

Медь входит в состав около 30 различных ферментов, которые встречаются как в растительных, так и в животных клетках. Ферменты, содержащие ионы меди, участвуют в процессах переноса электронов, акцепторами которых служит кислород.

В зависимости от каталитической активности или функций медьсодержащие ферменты разделяют на три группы: 1) «синие» оксидазы, в которых всегда содержится не менее четырех атомов меди на одну молекулу фермента, они катализируют восстановление кислорода до воды; 2) «не синие» оксидазы, в молекуле которых содержится только один или два атома меди, они катализируют восстановление кислорода до пероксида водорода; 3) оксигеназы [8, с. 94].

К синим оксидазам относится церулоплазмин –

медьсодержащий фермент, найденный в плазме крови человека и многих позвоночных (свиньи, лошади, коровы, олени, собаки, кошки и др.). Церулоплазмин человека содержит всего 0,3 % меди, имеет молекулярную массу 151000. В его молекуле – четыре полипептидные цепочки, две из которых обладают сравнительно небольшой длиной (масса их около 16000) и две длинные (молекулярная масса около 60000). Церулоплазмин удалось получить также в виде кристаллов. Церулоплазмин катализирует окисление ионов железа (II) в ионы железа (III). Каталитически ускоряются церулоплазмином также реакции окисления полиаминов и полифенолов. Медь связана с белком церулоплазмينا очень прочно, на одну молекулу белка приходится шесть атомов меди. Действие ионов меди в биохимических реакциях сводится к попеременному окислению и восстановлению. Имеются данные, показывающие, что только половина атомов меди находится в степени окисления (II), ионы меди в степени окисления (I) окисляются очень трудно и только при разрушении белковой части фермента [4].

Магний – это s-элемент второй группы, 3 периода Периодической системы химических элементов с порядковым номером 12; относительная атомная масса 24,305. Основной заряд иона 2+.

К ферментам, содержащим магний, относится гексокиназа. Этот фермент распространен очень широко, найден у бактерий, растений, животных, человека. Гексокиназа существует в виде нескольких изомерных форм, для каждой из которых изучен аминокислотный состав.

Гексокиназа – фермент, относящийся к классу трансфераз, катализирующий перенос фосфата с АТФ на D-глюкозу с образованием АДФ и глюкозо-6-фосфата. Гексокиназа обеспечивает перераспределение потока глюкозы в организме: во время всасывания питательных веществ из кишечника концентрация глюкозы в плазме крови увеличивается, и глюкоза направляется в печень, где подвергается действию глюкокиназы; по окончании пищеварения на фоне снижения концентрации глюкозы она направляется в скелетные мышцы, где на нее действует гексокиназа. Гексокиназа участвует в превращении глюкозы при брожении, гликолизе, оказывает существенное

влияние на пентозофосфатный цикл и биосинтез гликогена. Ее используют для исследования активности ряда ферментов, например креатинкиназы при диагностике инфаркта миокарда. Данные по активности гексокиназы в сыворотке крови служат дополнительным диагностическим тестом при онкологических заболеваниях [7].

Успехи энзимологии привели к тому, что в настоящее время выделено, очищено и изучено более 2000 ферментов. Более 25% ферментов для проявления полной каталитической активности нуждается в ионах металлов, роль которых в ферментативном катализе разнообразна.

## Литература

1. Большая медицинская энциклопедия. URL: <http://бмэ.орг/index.php/УРЕАЗА> (дата обращения: 11.02.2019).
2. Гамаюрова В.С., Зиновьева М.Е. Ферменты: лабораторный практикум. Казань: КГТУ, 2010. 272 с.
3. Ленинджер А. Основы биохимии: В 3-х т. Т. 1. М: Мир, 1985. 367 с.
4. Николаев Л.А. Металлы в живых организмах. Москва: Просвещение, 1986. 127 с.
5. Северин Е.С. Биохимия: Учебник. М: ГЭОТАР – МЕД, 2004. 784 с.
6. Фермент каталаза: основные особенности. URL: <http://fb.ru/article/325833/ferment-katalaza-osnovnyie-osobennosti> (дата обращения: 01.03.2019).
7. Химик, энциклопедия. Гексокиназа. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/957.html> (дата обращения: 01.03.2019).
8. Эйхгорн Г. Неорганическая биохимия. Том 2. М.: Мир, 1978. 737 с.

**Н.С. Катъшев,**  
Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 2 курс,  
nik.katyhsev@gmail.com

Научный руководитель:  
**Н.Н. Войтенкова,**  
Смоленский государственный университет,  
кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологии и химии

УДК 614.75

## **ЭЛЕМЕНТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАК ПРИЧИНЫ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА**

*Ключевые слова:* биогенная классификация химических элементов, профессиональные заболевания, Итай-итай, сатурнизм, болезнь Минамата, бромизм, йодизм, литейная лихорадка.

*Аннотация:* Развитие мировой промышленности привело к попаданию в окружающую среду значительных объемов химических элементов, которые имеют различное, часто негативное влияние на организм человека. Эти элементы и их соединения вызывают возникновение специфических заболеваний. В статье дана краткая характеристика и причины развития некоторых, наиболее специфических заболеваний, вызванных воздействием химических элементов.

В настоящее время известно 118 элементов, 92 из них встречается в природе, в организме человека обнаружен 81 элемент. Двенадцать элементов считаются структурными, так как на 99% формируют элементный состав человека: С, О, Н, N, Са, Mg, Na, К, S, P, F, Cl.

Существуют различные классификации химических элементов по их биологической роли в жизни человека. Согласно одной из таких классификаций, все элементы в организме делятся на три группы:

- жизненно необходимые (эссенциальные);
- вероятно (условно) необходимые;
- элементы, роль которых мало изучена или неизвестна.

Согласно другой классификации [1, 3], элементы могут быть биогенными, например С, Cu, N, Fe и т.д., входящими в состав живых организмов и необходимыми для его нормального функционирования. Другая группа элементов относится к абиогенным элементам: Pb, Cr, Sr, Hg и др. Эти элементы и их соединения, попадая в организм, приносят значительный вред даже в малых концентрациях.

Исследователи выделяют различное количество необходимых организму элементов: А. Ленинджер определяет 22 необходимых элемента, П. Аггетта – 20 элементов, В. Мерц – 21, тогда как Н.Б. Анке выделяет 29 элементов. Анализ данных в исследуемой области привел к формированию одной из общепризнанных классификаций, которая постаралась совместить в себе различные подходы. Результаты представлены в табл. 1 [1, 3]. Здесь учтено не только распределение элементов по группам, но их значение для организма.

Таблица 1

Биогенная классификация химических элементов [3]

Тип	Группа	Название	Примечание
Биогенные	Первозлементы	Водород, углерод, кислород, азот	Каркасные элементы органических молекул, возникших еще в докембрии. Составляющие большинства аминокислот
		Фосфор, сера	Непременные участники белковых молекул, ДНК и РНК. Создатели первичной, доклеточной жизни
	Макроэлементы	Калий, натрий, кальций, магний, хлор, кремний.	Элементы буферной системы первых одноклеточных организмов и клеточного потенциала. Первые элементы скелетного аппарата простейших организмов
	Эссенциальные микроэлементы	Железо, медь, цинк, марганец, хром, селен, молибден, йод,	Включились в метаболизм с возникновением кровеносной системы. Участвуют в окислительно-восстановительных реакциях. Составляющие коферментов организма

		кобальт, фтор.	
	Условно эссенциальные микроэлементы	Мышьяк, бром, литий, никель, ванадий, кадмий, свинец.	Узкоспециализированная группа элементов, “работающая” не у всех видов организмов. Некоторые входят в состав коферментов
	Брэйи-элементы	Золото, олово, таллий, теллур, германий, галлий	Предположительно, участвуют в проводимости импульсов головного мозга млекопитающих. Очевидно, включились в метаболизм в четвертичном периоде
Абиогенные	Нейтральные	Алюминий, титан, рублидий	Не заняли своего места в метаболизме животных из-за слабой реакционной способности, несмотря на широкую распространенность в литосфере
	Конкуренты	Барий, стронций, цезий	Участвовали в метаболизме морских форм организмов, что и определило их дальнейшую конкуренцию в метаболизме сухопутных видов (ведущую к патологии)
	Агрессивные	Ртуть, бериллий, осмий, висмут	Элементы поздней вулканической деятельности. В связи с тем, что не нашли места в метаболизме организмов, вредны в малых дозах

Из данных таблицы видно, что некоторые элементы не только не приносят пользу организму, но и способны вызывать серьезные патологии. При этом эти элементы и их соединения являются незаменимыми звеньями в современном промышленном производстве.

В настоящее время развитие промышленности и сельского хозяйства привело к тому, что достаточно большое число химических элементов попадает в окружающую среду, а оттуда – в организм человека. Основные источники их попадания в организм – это вдыхание загрязненного воздуха, употребление воды и продуктов питания.

Негативное воздействие химических элементов на организм человека можно разделить на два основных направления: неспецифическое воздействие (общее снижение иммунитета, тошнота, головные боли, аллергические реакции и т.д.) и специфическое (заболевания, имеющие специфические особенности протекания и специфические симптомы). На данный момент известно большое количество специфических заболеваний, причиной возникновения которых является отравление химическими элементами и/или их соединениями.

Проанализировав литературные и интернет-источники [1, 2, 4], мы выделили некоторые специфические заболевания, вызванные различными элементами или их соединениями.

*Сатурнизм.* Отравление соединениями свинца (Pb). Органы-мишени – кровеносная и нервная системы, желудочно-кишечный тракт. Острое отравление характеризуется головной болью, слабостью, рвотой, брадикардией, потливостью, тремором конечностей, обладает высокой летальностью. Хроническая форма характеризуется общей слабостью, болями в животе, «свинцовой каймой» по краям десен, анемией, почечной недостаточностью, агрессивным поведением.

Производства, являющиеся источником поступления свинца в окружающую среду и в организм человека: цветная металлургия, выплавка свинца, производство аккумуляторов (измельчение свинцового порошка и намазывание им пластин), составление шихты при производстве хрусталя, производство свинцовых пигментов.

Бытовое отравление осуществляется через продукты питания и вино, которые хранятся в глиняной посуде, покрытой изнутри глазурью, содержащей свинец.

*Болезнь Итай-итай.* Отравление солями кадмия ( $Cd^{2+}$ ). Органы-мишени – опорно-двигательный аппарат, ЦНС, почки. Острое отравление характеризуется сильной болью в костях и суставах, гипотонией и гипотрофией мышц, патологическими переломами и деформацией костей. Хроническое отравление характеризуется общей слабостью, кашлем, анемией, болью в костях и суставах, почечной недостаточностью.

Производства, являющиеся источником поступления солей кадмия в окружающую среду и в организм человека –

горнодобыча, цветная металлургия (выплавка меди, свинца или цинка); гальваническое производство, производство керамики, пигмента для красок и пластмасс.

Бытовое отравление человека происходит через употребление морепродуктов и рыбы, а также с рисом, который выращивался с помощью ирригационных вод, содержащих кадмий.

*Болезнь Минамата.* Отравление органическими соединениями ртути. Органы-мишени – ЦНС, желудочно-кишечный тракт. Острое отравление характеризуется онемением и слабостью в конечностях, усталостью, сужением поля зрения, потерей слуха, нарушением речи и неуклюжими движениями. Хроническое отравление характеризуется головными болями, частой усталостью, потерей обоняния и вкуса, забывчивостью. Кроме того, имеются пациенты с врождённой болезнью Минаматы.

*Меркуриаризм.* Отравление парами ртути (Hg). Органы-мишени – головной мозг, легкие и почки. Острая форма отравления характеризуется общей слабостью, головной болью, металлическим привкусом во рту, набуханием и кровоточивостью десен, болями в животе. На последних стадиях развивается воспаление легких, катар верхних дыхательных путей. Хроническое отравление характеризуется повышенной утомляемостью, сонливостью, головными болями, ртутной неврастенией, апатией, ртутным тремором, а также увеличением щитовидной железы, нарушением ритма сердца, снижением кровяного давления.

Производства, которые являются источниками поступления соединений ртути в окружающую среду и организм человека – горнодобыча, производство термометров и барометров, осветительных приборов, красителей и взрывчатых веществ (детонаторов).

Бытовое поступление осуществляется при несоблюдении правил безопасности работы со ртутьсодержащими приборами.

Все заболевания, вызванные отравлением ртутьсодержащими соединениями, характеризуются высокой летальностью.

*Литейная лихорадка (латунная лихорадка).* Отравление мелкодисперсной пылью цинка (Zn). Органы-мишени – легкие, ЖКТ, частично ЦНС. Острая форма характеризуется усталостью, сонливостью, жаждой, сладковатым привкусом во рту, головной болью, чувством стеснения в груди, сухим кашлем; возможен бред, раздражение верхних дыхательных путей, бронхит, расстройства ЖКТ. Хроническая форма сопровождается бронхитами, общей слабостью, приступами лихорадки, рвотой и бредовыми состояниями. При прекращении воздействия симптомы затухают и со временем проходят. Летальность очень низкая.

Производства, сопутствующие появлению болезни – добыча цинковых руд и металлообработка, литейное производство.

*Бромизм и бромодерма.* Отравление бромистыми солями (KBr, NaBr и др.). Органы-мишени – ЦНС и лимфатическая система. Острая форма характеризуется диареей, потерей аппетита, апатией, умственной слабостью, малокровием, исхуданием. При хронической форме наблюдается затруднение речи, слабость конечностей, дрожание языка, атактическая походка, исчезают рефлексы со стороны глотки.

Острое проявление бромодермы характеризуется кожными высыпаниями в виде синюшных угрей или фиолетовых бляшек на лице, голенях, ягодицах. Хроническое проявление – темно-красные уплотнения на коже.

Болезнь может поражать работников медицинской промышленности, химической промышленности и нефтепереработки.

Бытовое поступление возможно через использование дезинфицирующих средств и посредством передозировки лекарственных препаратов и БАДов.

*Йодизм.* Отравление парами йода, йодным раствором. Органы-мишени – легкие и щитовидная железа. Острое отравление характеризуется кашлем, насморком, резью в глазах, слюно- и слезотечением, головной болью при вдыхании паров. При приеме настойки йода внутрь – боли в животе, тошнота, рвота. Хроническая форма – слабость, судороги, кожная сыпь – йододерма.

Болезнь может сопутствовать работникам медицинской промышленности, химической промышленности.

Бытовое поступление возможно через БАДы, лекарственные средства, загрязненную воду.

Итак, можно заключить, что среди наиболее токсичных химических элементов преобладают атомы металлов с высокой атомной массой, относящиеся к группе так называемых «тяжелых металлов». Кроме общего снижения иммунитета, головных болей и рвоты отравление этими элементами и их соединениями приводит к возникновению опасных специфических заболеваний. Основное поражающее действие они оказывают на ЦНС и ткани. Эти заболевания, кроме литейной лихорадки, обладают высоким уровнем летальности, как среди людей, так и среди животных. Большая часть тяжелых металлов попадает в организм с водой или с продуктами питания. Наиболее опасными в данном случае можно считать рыбу и морепродукты.

Также среди элементов, вызывающих специфические заболевания, есть много неметаллов, которые при определенных концентрациях могут приводить к возникновению специфических заболеваний, таких как бромизм, бромодерма и йодизм. Элементы неметаллической природы оказывают основное воздействие на процессы внутренней регуляции организма и редко приводят к прямым поражениям органов и тканей (в отличие от металлов). Кроме того, наличие или отсутствие этих элементов может стать основой формирования других патологических заболеваний.

Все рассмотренные элементы в определенных условиях могут вызывать генотоксический и эмбриотоксический эффект, что также негативно сказывается на состоянии здоровья.

Таким образом, в современном мире в окружающей среде содержится огромное количество химических элементов и их соединений, которые вполне свободно попадают в организм человека и вызывают развитие специфических заболеваний, имеющих значительный остаточный поражающий эффект и высокую степень летальности. Подобная ситуация требует не только ужесточения государственного контроля за качеством окружающей природной среды, но и более ответственного отношения человека к своему здоровью (соблюдение правил безопасности на производстве и в быту).

## Литература

1. Богоявленский В.Ф. Острые отравления. М.: Гиппократ, 2014. 160 с.
2. Куценко С.А. Основы токсикологии. С-Пб.: Фолиант 2004. 716 с.
3. Биогенная классификация элементов. URL: [http://ekolog.org/books/21/12\\_1.htm](http://ekolog.org/books/21/12_1.htm) (дата обращения 25.03.2019).
4. Болезни, вызываемые воздействием химических факторов. URL: <http://profbolezni.net/ximicheskie-faktori/> (дата обращения 26.03.2019).

**Е.А. Щербакова,**

Смоленский государственный университет,  
естественно-географический факультет, 4 курс,  
[kate.andrevna97@gmail.com](mailto:kate.andrevna97@gmail.com)

Научный руководитель:

**Н.Н. Войтенкова,**

Смоленский государственный университет,  
кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологии и химии

УДК 504.5

## ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПИВА НА ООО «ПМЗ ЭРНСТА КЛЕЙНА»

*Ключевые слова:* производственный контроль, водоочистка, сточные воды, эвтрофикация водоема, ионы аммония, нитрит ион, нитрат ион.

*Аннотация:* в статье представлен анализ производственного контроля соединений азота в сточных водах пивоваренного завода ООО «ПМЗ Эрнста Клейна». Выявлены особенности формирования азотсодержащих сточных вод и концентрация нормируемых соединений за последние три года. Выявлено превышение ПДК по нитрит иону, предложены возможные источники поступления загрязняющих веществ в сточных водах.

Азот составляет основу атмосферы Земли и входит в состав всех живых организмов. Он считается одним из важнейших элементов питания и необходим для нормального развития всех живых организмов, так как входит в состав белков, нуклеиновых кислот, хлорофилла, гемоглобина и нуклеопротеидов. Его соединения играют большую роль в процессах фотосинтеза, обмена веществ и образования новых клеток. Круговорот азота является глобальным явлением.

Кроме того, азот играет важную роль в жизни человека: его соединения используются в промышленности, сельском хозяйстве и в быту. Так, в химическом производстве простое вещество азот используется для синтеза аммиака и минеральных удобрений на его основе. Аммиак является источником получения азотной кислоты, азотсодержащих солей, мочевины и соды. Оксид одновалентного азота применяется в медицине для наркоза и используется для создания аэрозолей. Азотная кислота используется в производстве минеральных удобрений, взрывчатых веществ, красителей, пластмасс и искусственных волокон. Азотные удобрения, например, аммиачную селитру, мочевины, используют для подкормки растений и повышения урожая.

Попадая с дождевыми и талыми водами в поверхностные водоемы, азотсодержащие вещества приводят к повышению биологической продуктивности водных объектов, то есть к развитию процесса эвтрофикации, приводящему к ухудшению физико-химических условий среды обитания водоема, увеличению биомассы водорослей. Многие водоросли, например спиригира, приносят сопутствующий вред в виде выделения в воду токсических продуктов метаболизма, которые отравляют других жителей водоемов. Все вместе приводит к снижению биоразнообразия водных экосистем.

Все выше сказанное делает промышленный экологический контроль за содержанием азотсодержащих соединений в сточных водах промышленных предприятий обязательным природоохранным мероприятием. Цель нашего исследования состояла в ознакомлении с организацией экологического контроля сточных вод предприятия ООО «ПМЗ Эрнста Клейна».

Предприятие расположено в городе Ржев Тверской области, специализируется на производстве пива и безалкогольных напитков.

Процесс производства пива сложный и длительный. Начинается он с проращивания солода. Солод – это намоченные и пророщенные семена злаков: чаще всего ячменя, реже ржи, пшеницы и кукурузы. При производстве пива, в зависимости от его сорта, используются следующие виды солода: светлый солод, жженный солод и карамельный солод. Хранится он в специальных резервуарах, из которых поступает в специальную дробилку для перемалывания. Затем поступает в фильтрационный чан для отделения жидкой фазы (сусла) от твердой (дробины) с последующим вымыванием водой экстракта, удерживаемого дробинной.

Далее отфильтрованное сусло и промывные воды собираются в сусло-варочный котел, куда добавляется натуральный спрессованный хмель, и варятся при температуре 73-75 °С. Далее сусло освобождают от хмеля в хмелеотборном аппарате, который устанавливается над сусловарочным аппаратом. После освобождения от хмеля сусло охлаждают в специальных емкостях до 60-70 °С, а затем быстро до начальной температуры брожения. Затем переходят к стадии сбраживания пивного сусла. Происходит процесс в специальном бродильном цилиндре, куда помещают культуры дрожжей. Сбраживание происходит в течение 7 суток. Потом сусло с дрожжами помещают в бродильные танки, где происходит пенообразование.

Следующая стадия – дображивание и созревание пива. Происходит эта стадия в танках лагерного цеха, где идут процессы брожения, но уже медленнее, чем при главном брожении. Данная стадия может длиться 2-3 недели, в зависимости от сорта пива.

После данной стадии пиво осветляют с помощью фильтрования. В качестве фильтра используют диатомитовые порошки, представляющие собой остатки кремнистых диатомей.

Затем проводят карбонизацию пива и его пастеризацию. При карбонизации пиво охлаждают до 1°С, переводят в карбонизатор и смешивают с CO<sub>2</sub>. Это необходимо для насыщения пива углекислотой. Пастеризация обеспечивает увеличение биологической стойкости и более полное освобождение его от

дрожжей и других микроорганизмов. Режим и способ пастеризации пива зависит от сорта пива и применяемой тары.

После карбонизации и пастеризации происходит разлив пива, укупорка и этикетирование.

В результате пивоваренного процесса за счет вымачивания суслу в специальных резервуарах и промывки оборудования образуются сточные воды, которые, в соответствии с требованиями законодательства, на предприятии ежемесячно проверяются специальной аккредитованной лабораторией «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному Федеральному округу» (филиал ЦЛАТИ по Тверской области).

По нормативам в сточной воде проверяют содержание тринадцати компонентов. К ним относятся: водородный показатель (рН), биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), химическое потребление кислорода (ХПК), взвешенные вещества, сухой остаток, хлориды, сульфаты, ионы аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), нитрит-ионы (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), нитрат-ионы (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), фосфат-ионы, нефтепродукты, железо.

Из обозначенных тринадцати компонентов три соединения являются азотсодержащими и представляют для нас особый интерес. Для количественного определения каждого из них на предприятии существует утвержденная методика. Так, для иона аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) используется ПНД Ф 14.1:2:4.262-10 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера» [3]. Для нитрит-иона (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) используют ПНД Ф 14.1:2.3-95 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрит-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса» [2]. А для нитрат-иона (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) – ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой» [4].

Пивоваренный завод расположен в пределах городского поселения, и его сточные воды по договору с Горводоканалом сбрасываются в городскую систему канализации Ржева, где потом очищаются вместе с остальными канализационными стоками на городских очистных сооружениях. Все условия сброса сточных вод прописаны в договоре; кроме того, нельзя сбрасывать сточные воды в состоянии брожения. В таком виде сточные воды могут изменять рН очистных систем, что значительно затруднит их работу в области биологической очистки.

Сточные воды пивоваренных заводов характеризуются следующим составом загрязняющих компонентов: остатки готового продукта, ячменной дробины, ростки солода, частицы хмеля. Наиболее загрязненные сточные воды получаются от замачивания зерна, экстракции хмеля, мытья фильтромассы, отмывки дрожжей. Азот в сточных водах образуется в результате попадания в стоки белков и дрожжей [5].

Для анализа динамики содержания азотсодержащих соединений в сточных водах предприятия мы использовали результаты мониторинга за последние три года. Поскольку концентрация азотсодержащих веществ меняется по сезонам года, анализировались усредненные данные по каждому из сезонов на основе результатов ежемесячных лабораторных испытаний. Определение соответствия сточных вод по выбранным показателям сравнивалось со значениями нормативов допустимых концентраций соединений азота в сточных водах, утвержденных договором предприятия с Горводоканалом [1], в канализационные системы которого и происходит сброс. Данные результатов исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Концентрация азотсодержащих соединений в сточных водах  
ООО «ПМЗ Эрнста Клейна» за 2016-2018 гг

ПДК, мг/дм <sup>3</sup>	2016				2017				2018			
	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О
13,4	Ион аммония (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>											
	7,6	7,2	7,1	8,7	7,4	7,0	7,8	7,2	7,0	8,6	7,3	5,5
0,08	Нитрит ион (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>											
	0,57	0,70	0,70	0,66	0,54	0,57	0,57	0,43	0,52	0,60	0,52	0,44
40	Нитрат ион (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>											
	9	9,5	9	9,5	7,8	8,4	8,4	8,2	9,6	11,8	12,8	14,7

Примечание. В таблице приняты следующие сокращения: З – зима, В – весна, Л – лето, О – осень.

Анализ данных приводит к выводу о том, что в 2016 году наибольшее количество ионов аммония (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) пришлось на осень, в 2017 году на лето, а в 2018 году на весну. Наибольшее количество нитрит-ионов (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) в 2016 году приходилось на весну и лето, в 2017 году также на весну и лето, а в 2018 году на весну. Больше всего нитрат-ионов (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) в сточных водах предприятия в 2016 году обнаружено весной, в 2017 году весной и летом, в 2018 году осенью. Скорее всего, такие колебания могут быть связаны с попаданием соединений азота с артезианскими водами, используемыми в производстве. Весной и летом через оттаявший грунт в артезианскую скважину просачиваются вещества с территории санитарной зоны водозабора. Кроме того, все превышения связаны с периодом максимального потребления продукции предприятия, а значит и с увеличением объема производства.

Для выявления тенденций по изменению количества веществ в сточных водах в каждом отчетном году и установления возможных превышений предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ были построены диаграммы.

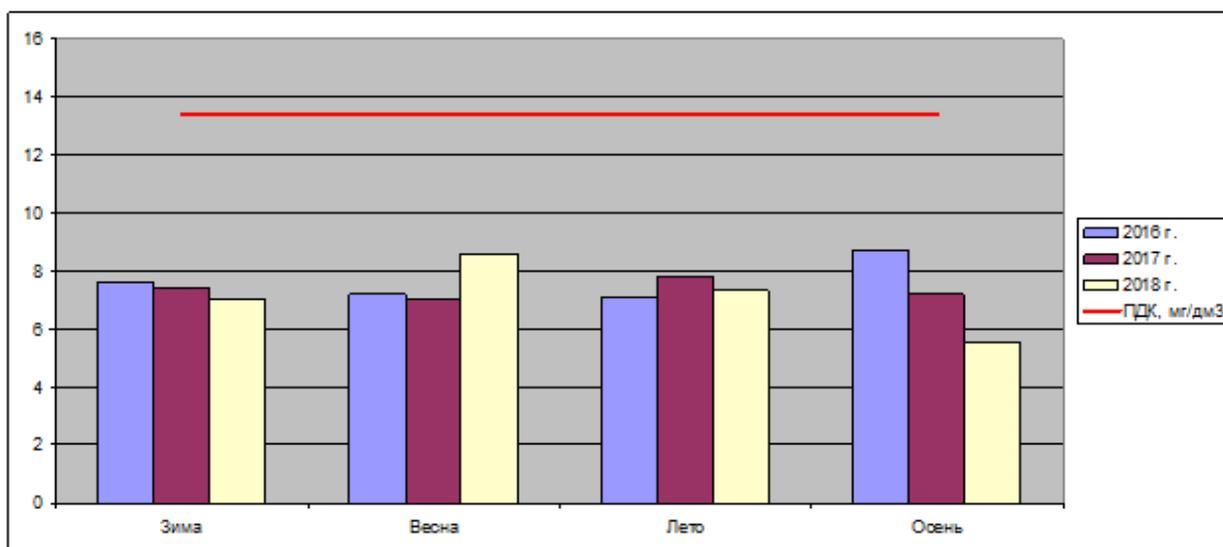


Рис.1. Концентрация ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) в сточных водах пивомедоваренного завода

На диаграмме видно, что наименьшая концентрация ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) наблюдалась весной 2017 года, а наибольшее содержание иона аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) – осенью 2016 года. Однако превышений ПДК в сточной воде по содержанию ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) не обнаружено.

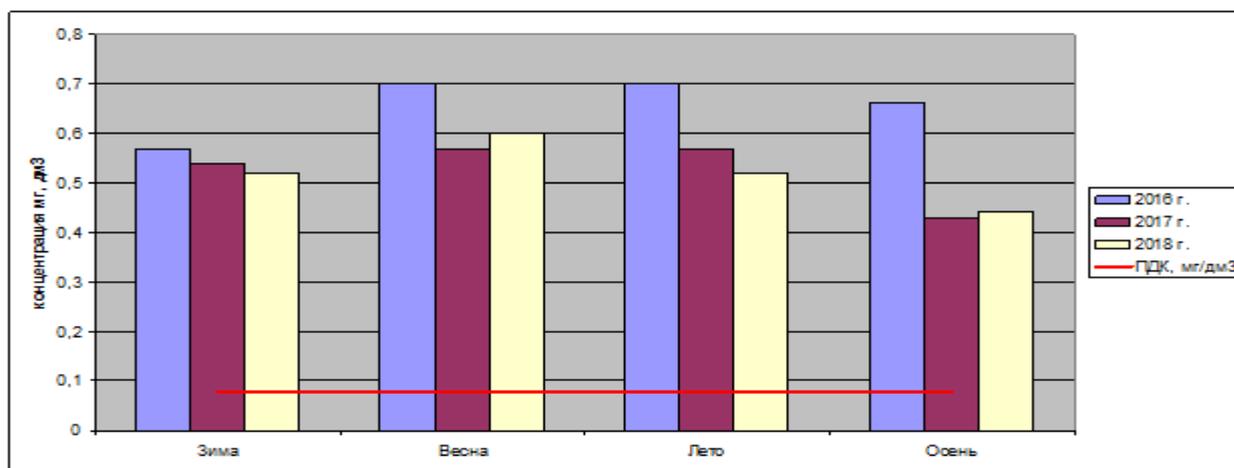


Рис. 2. Концентрация нитрит-ионов ( $\text{NO}_2^-$ ) в сточных водах пивомедоваренного завода

По концентрации нитрит-ионов ( $\text{NO}_2^-$ ) обнаружено превышении допустимых концентраций (по договору с Горводоканалом города Ржев). Причем наибольшее превышение ПДК наблюдалось, весной и летом 2016 г. Это может быть связано с использованием каких-либо химических соединений, применяемых для ухода за растительным покровом территории

завода в районе санитарной зоны водозабора. Удобрения для клумб могут содержать высокие концентрации азотсодержащих веществ. Также указанные превышения могут быть связаны с увеличением производственных объемов и качеством закупленного солода.

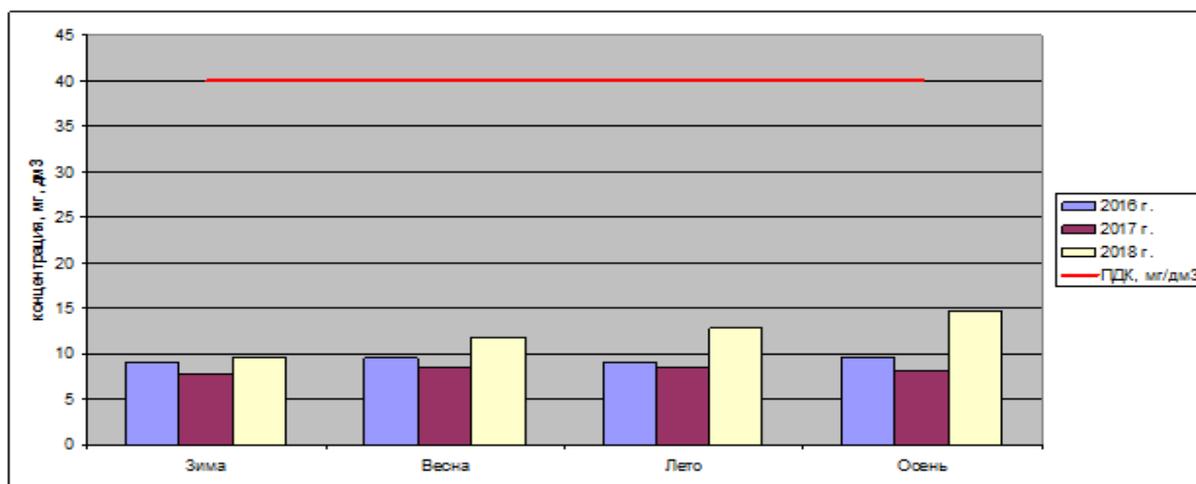


Рис. 3. Концентрация нитрат-ионов( $\text{NO}_3^-$ ) в сточных водах пивомедоваренного завода

Анализ диаграммы позволяет выявить отсутствие превышений концентрации нитрат-ионов ( $\text{NO}_3^-$ ) в сточной воде. Однако прослеживается тенденция к незначительному повышению концентрации нитрат-ионов ( $\text{NO}_3^-$ ), начиная с осени 2017 года. Также видно, что наибольшее количество нитрат-иона ( $\text{NO}_3^-$ ) было зафиксировано осенью 2018 г.

Подводя итог, следует подчеркнуть, что сточные воды пивоваренного завода содержат три контролируемых по азоту соединения, которые законодательно нормируются при сбросе сточных вод: ионы аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), нитрит-ионы ( $\text{NO}_2^-$ ), нитрат-ионы ( $\text{NO}_3^-$ ). Они попадают в воду при промывке оборудования в процессе приготовления пива и являются результатом активности дрожжей и замачивания солода.

В рамках экологического контроля на ООО «ПМЗ Эрнста Клейна» в г. Ржев было отмечено значительное превышение, установленных договором ПДК, по одному показателю – концентрации нитрит-ионов ( $\text{NO}_2^-$ ). Особенно высокие показатели отмечаются в весенне-летний сезон, что, скорее всего, связано с увеличением объемов производства пива, попаданием в почву

загрязненных талых и дождевых вод, что приводит к дополнительному загрязнению в районе санитарной зоны водозабора артезианской скважины завода. Такое превышение по нитрит-иону может приводить к увеличению нагрузки на городские очистные сооружения и сбросу недоочищенной воды в р. Волга.

Следует отметить, что выявленное несоответствие показателей производственного контроля сточных вод договору с Горводоканалом требует проведения дополнительных исследований для выявления причин превышения концентраций по нитрит-иону в сточных водах.

### Литература

1. Договор №965 на холодное водоснабжение и водоотведение ООО «ПМЗ Э. Клейна». Приложение 7 (Сведения о нормативах допустимых сбросов и требований к составу сточных вод установленных для абонента).

2. ПНД Ф 14.1:2.3-95 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрит-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса». URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi> (дата обращения 02.04.2019).

3. ПНД Ф 14.1:2:4.262-10 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера». URL: <https://standartgost.ru/> (дата обращения 02.04.2019).

4. ПНД Ф 14.1:2:4.4-95 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой». URL: <https://standartgost.ru/g/> (дата обращения 02.04.2019).

5. Пивоварня, спиртзавод. Очистка сточных вод. URL: <https://www.vo-da.ru> (дата обращения 04.04.2019).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Миренкова Е.В.</b> История и современность Периодической системы элементов .....	3
<b>Филиппова А.А.</b> Многоликая таблица .....	9
<b>Котов О.В.</b> Новые имена в Периодической системе элементов .....	17
<b>Добросовестная Д.С.</b> Соотношение названий химических элементов Периодической системы и названий минералов .....	23
<b>Мещерякова Ю.Д.</b> Особенности распределения и формы нахождения химических элементов в земной коре .....	27
<b>Девина Ю.Р.</b> Химический состав минералов и его влияние на их свойства .....	33
<b>Бочулинская Е.Р.</b> Ионы металлов как кофакторы ферментов .....	39
<b>Катышев Н.С.</b> Элементы Периодической системы как причины специфических заболеваний человека .....	48
<b>Щербакова Е.А.</b> Особенности экологического контроля соединений азота при производстве пива на ООО «ПМЗ Эрнста Клейна» .....	55

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ  
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Сборник материалов научной студенческой конференции  
[Электронное издание]

Издательство  
Смоленского государственного университета

Техническая верстка: *Е.В. Миренкова*