
БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 504.75

DOI 10.25587/2222-5404-2023-20-3-5-13

Сравнение строения комплексных соединений в растворах сульфатов 3d элементов различного состава спектрофотометрическим методом с октаэдрическими комплексными ионами хрома (III)

А. С. Пакшвер

Чукотский филиал, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,

г. Анадырь, Россия

✉ chukotka@s-vfu.ru

Аннотация. Кожевенное производство собирает, перерабатывает и превращает отходы производства мяса (шкуры) в ценный, уникальный материал – натуральную кожу (согласно данным издания World Leather, ежегодный рынок мяса производит до 7,7 млн тонн отходов в виде шкур животных). Среди минеральных дубителей наилучшим до настоящего времени признано дубление основными солями сульфата хрома, так как кожа хромового дубления получается высокого качества. Дубление протекает в водной среде в присутствии большого количества органических соединений, таких как аминокислоты, продукты гидролиза коллагена, из которого состоит кожная ткань. Продубленный полуфабрикат после дубления солями хрома (III) вследствие образования прочных химических связей с полипептидными цепями коллагена выдерживает кипячение в течение трех минут с усадкой образца ткани не более 5%. Соли металлов 3d элементов, обнаруженных в растворе после дубления, могут быть полезными при дублении голя и получении продубленного полуфабриката. В этой связи для исследования выбраны растворы сульфатов железа (III), хрома (III), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II). Определенный интерес вызывает вопрос о строении комплексных соединений сульфатов 3d элементов и их отличие или соответствие строению дубящих комплексных ионов хрома (III). О строении комплексных ионов можно судить по окраске растворов, по изменению pH-среды, в которой протекает гидролиз солей, а также присутствию аминокислот или щелочных агентов. Из сравнительного анализа окрашенных растворов сульфатов 3d элементов спектрофотометрическим методом с раствором сульфата хрома (III) вытекает, что эти соединения, как и комплексный ион хрома (III), имеют октаэдрическую форму, которая не нарушается при взаимодействии с аминокислотами белка.

Ключевые слова: получение кожной ткани, дубители, растворы сульфатов 3d элементов различного состава, спектральные характеристики растворов, энергия расщепления d-подуровней кристаллическим полем лигандов.

Для цитирования: Пакшвер А. С. Сравнение строения комплексных соединений в растворах сульфатов 3d элементов различного состава спектрофотометрическим методом с октаэдрическими комплексными ионами хрома (III). Вестник СВФУ. 2023, Т. 20, №3. С. 5–13. DOI: 10.25587/2222-5404-2023-20-3-5-13

Comparison of the structure of complex compounds in solutions of sulfates of 3d elements of various compositions using the spectrometric method with octahedral complex chromium (III) ions

A. S. Pakshver

Chukotka branch, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Anadyr, Russia

✉ chukotka@s-vfu.ru

Abstract. The leather industry collects, processes and turns meat production waste (skins) into a valuable, unique material - genuine leather (according to the World Leather publication, the annual meat market produces up to 7.7 million tons of waste in the form of animal skins). Among the mineral tanning agents, tanning with basic salts of chromium sulfate has been recognized as the best so far, since chrome-tanned leathers are of high quality. Tanning takes place in an aqueous medium in the presence of a large number of organic compounds, such as amino acids, products of collagen hydrolysis, which makes up the skin tissue. The tanned semi-finished product after tanning with chromium (III) salts, due to the formation of strong chemical bonds with polypeptide chains of collagen, can withstand boiling for three minutes with shrinkage of the tissue sample of no more than 5%. Metal salts of 3d elements found in the solution after tanning can be useful in tanning the drumstick and obtaining a tanned semi-finished product. In this regard, solutions of ferrous (II), chromium (III), cobalt (II), nickel (II), copper (II) and zinc (II) sulfates were selected for the study. Of particular interest is the structure of the structure of complex compounds of sulfates of 3d elements and their difference or correspondence to the structure of tanning complex ions of chromium (III). The structure of complex ions can be judged by the color of the solutions, by the change in the pH of the medium in which the hydrolysis of salts takes place, as well as in the presence of amino acids or alkaline agents. Based on the comparative analysis of colored solutions of sulfates of 3d elements by the spectrophotometric method with a solution of chromium (III) sulfate, it follows that these compounds, like the complex chromium (III) ion, have an octahedral form that is not disturbed when interacting with protein amino acids.

Keywords: production of leather tissue, tannins, sulfate solutions of 3d elements of various compositions, spectral characteristics of solutions, cleavage energy by crystalline field of ligands.

For citation: Pakshver A. S. Comparison of the structure of complex compounds in solutions of sulfates of 3-d elements of various compositions using the spectrometric method with octahedral complex chromium (III) ions. Vestnik of NEFU. 2023, Vol. 20, No. 3. Pp. 5–13. DOI: 10.25587/2222-5404-2023-20-3-5-13

Введение

Производство кожи и меха под брендом «эко-», широко рекламируемым в последнее время, основано на их получении из искусственных или синтетических материалов, представляющих опасность для окружающей среды при производстве и утилизации. Однако, несмотря на это, производители этой продукции стремятся вытеснить с рынка кожу и обувь, произведенную из животного сырья. Кожевенное производство, наоборот, собирает, перерабатывает и превращает отходы производства мяса (шкуры) в ценный, уникальный материал – натуральную кожу (согласно данным издания World Leather, ежегодный рынок мяса производит до 7,7 млн тонн отходов в виде шкур животных).

Перед отраслью легкой промышленности по производству кожи и обуви в соответствии с поручениями Президента России, перед Российским союзом кожевников и обувщиков стоит задача наращивания выпуска изделий из натуральной кожи отечественного производства в целях обеспечения народонаселения нашей страны качественными товарами [1].

Особую группу при производстве натуральной кожи образуют дубящие соединения, под воздействием которых за счет образования прочных химических связей с полипептидными цепями коллагена [2] подготовленное сырье превращается в кожу, способную выдерживать кипячение в воде в течение трех минут (с усадкой не более 5%). Многолетний опыт дубления показал, что среди дубителей, придающих коже различные свойства, соединения хрома (III) имеют неоспоримое преимущество, так как с их применением получают кожу с высокими потребительскими свойствами [3]. В. П. Пановым с соавторами установлено наличие в растворе после дубления в небольших количествах таких ионов металлов, как железо (III)(0,0044), кобальт (II)(0,002), никель (II)($<0,001$), медь (II)($<0,075$) и цинк (II)(0,071) (г/л), а также аминокислот (продуктов распада коллагена) [4]. Предложены способы устранения органических соединений из раствора после дубления с целью многократного возврата дубильного раствора в технологический процесс [5, 6].

Соли металлов 3d элементов могут быть полезными при дублении голя и получении продубленного полуфабриката. В этой связи для исследования выбраны растворы сульфатов железа (III), хрома (III), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II). Все перечисленные элементы являются хорошими комплексообразователями [7] и могут принимать участие в получении продубленного полуфабриката. Сульфаты перечисленных солей в воде гидролизуются, а также окрашиваются в различные цвета (кроме раствора сульфата цинка). Состав комплексных ионов, несомненно, изменяется при гидролизе, а окраска растворов может изменяться с изменением состава комплексных ионов.

Настоящая работа направлена на выяснение причин появления окраски растворов комплексных соединений (КС) с позиций теории кристаллического поля (ТКП) [8]. Окрашенные растворы способны поглощать свет различной длины волны [9]. Изменение окраски раствора КС может означать изменение длины волны поглощенного света, что вызвано изменением геометрии комплексного иона.

Цель работы – сравнение строения комплексных соединений в растворах сульфатов 3d элементов различного состава спектрофотометрическим методом с октаэдрическими комплексными ионами хрома (III).

Материалы и методы исследования

Соли сульфатов 3d элементов при растворении в воде образуют окрашенные растворы комплексных соединений (КС).

Цветные растворы, как известно, поглощают свет. Объединенный основной закон светопоглощения Бугера – Ламберта – Беера – Бернара можно представить в экспоненциальной форме [9]:

$$I = I_0 e^{-kcl},$$

где I, I_0 – интенсивность светового потока, прошедшего через светопоглощающую среду и падающего на нее, k – коэффициент поглощения света ($\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), c – концентрация светопоглощающих частиц в данной среде (моль/л), l – толщина светопоглощающего слоя (см).

Преобразованное выражение $\lg(I_0/I) = (k/2,3) \cdot c \cdot l$ (или $A = \varepsilon \cdot c \cdot l$) используется в спектрофотометрии для аналитических целей. Величина $\lg(I_0/I)$ является оптической плотностью (A) раствора, $\varepsilon = k/2,3$ молярный коэффициент поглощения.

Как было указано выше, в настоящей работе строение КС рассматривается с позиций ТКП, которая разработана Хансом Альбрехтом Бете. Окрашенные растворы КС способны поглощать свет различной длины волны. Изменение окраски раствора КС означает изменение длины волны поглощения света, что может быть вызвано изменением геометрии комплексного иона.

Для исследования готовили растворы сульфатов 3d элементов: Cr(III), Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II) и Zn(II) в колбе на 500 см^3 с концентрацией 0,1 моль/дм³.

Все полученные растворы сульфатов 3d элементов, кроме раствора сульфата цинка, окрашены в различные цвета.

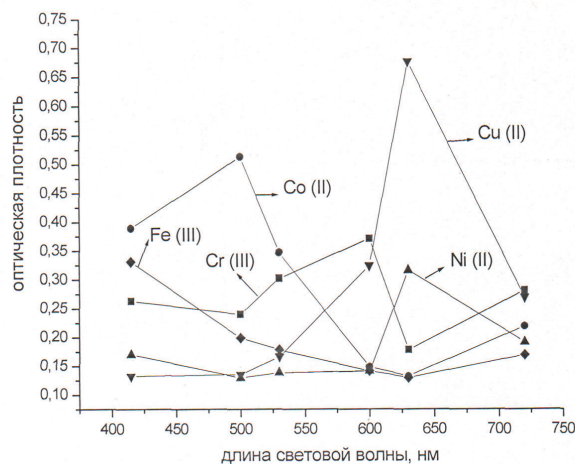


Рис. 1. Спектральные характеристики растворов сульфатов 3d элементов
Fig. 1. Spectral characteristics of solutions of sulfates of 3d elements

Исследование поглощающей активности окрашенных растворов сульфатов 3d элементов выполнялось с помощью колориметра фотоэлектрического однолучевого КФО на светофильтрах с соответствующей длиной волны: синий (415нм), сине-зеленый (500нм), зеленый (530нм), оранжевый (600нм), красный (630нм) [10].

Для каждого раствора измерения выполнялись троекратно. В соответствии со средним значением коэффициента пропускания (Т, %) по таблице зависимости оптической плотности А от Т [10] определялась оптическая плотность растворов. Зависимость оптической плотности исследованных растворов от длины световой волны показана на рис. 1.

Максимальная оптическая плотность (рис. 1) растворов сульфатов наблюдалась при 600 нм (Cr (III)), 415нм (Fe (III)), 500нм (Co (II)), 630нм (Ni (II)), 630нм (Cu (II)).

Результаты и обсуждение

Окраска водных растворов комплексных соединений во многом зависит от электронного строения ионов комплексообразователей: хрома (III), железа (III), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II).

Симметричные конфигурации d⁵ и d¹⁰ очень устойчивы, из-за этого происходит «проскок» электрона – переход одного 4s-электрона на 3d-орбиталь у атомов хрома и меди. От того, что 4s-электроны имеют меньшую энергию и первыми удаляются в процессе ионизации, электронные конфигурации атомов и ионов 3d элементов имеют строение (табл. 1):

Таблица 1

Электронные формулы атомов и ионов 3d элементов

Table 1

Electronic formulas of atoms and ions of 3d elements

Химический элемент	Электронная формула нейтрального атома	Электронная формула иона атома
Хром	$_{24}\text{Cr } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^5$	$_{24}\text{Cr}^{3+} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^3$
Железо	$_{26}\text{Fe } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$	$_{26}\text{Fe}^{3+} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^5$
Кобальт	$_{27}\text{Co } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^7$	$_{27}\text{Co}^{2+} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^7$

Никель	$_{28}\text{Ni } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^8$	$_{28}\text{Ni}^{2+} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^8$
Медь	$_{29}\text{Cu } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1 3d^{10}$	$_{29}\text{Cu}^{2+} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^9$
Цинк	$_{30}\text{Zn } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10}$	$_{30}\text{Zn}^{2+} 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^{10}$

Теория кристаллического поля (ТКП) является развитием простой электростатической теории образования комплексов [7]. Она лучше всего применима к соединениям d-элементов и является наиболее простой моделью, позволяющей достаточно просто объяснить их свойства в отличие от методов валентных связей и молекулярных орбиталей. Согласно этой теории, связь в комплексе осуществляется за счет электростатического взаимодействия между положительно заряженным центральным атомом и отрицательно заряженными лигандами. Лиганд рассматривается только как источник заряда (кристаллического поля), тогда как для центрального атома учитывается пространственное расположение d-орбиталей [11].

Орбитали в пространстве для d-электронов имеют разную ориентацию и обозначаются: $d_{x^2-y^2}$; d_z^2 ; d_{xy} ; d_{xz} ; d_{yz} . Геометрическое строение комплексного иона определяется по числу лигандов: шесть лигандов образуют октаэдр, четыре – тетраэдр. В водных растворах сульфатов координационное число хрома (III), железа (III), кобальта (II), никеля (II), меди (II) и цинка (II) равно шести [12].

В свободном атоме или ионе электроны, находящиеся на любой из орбиталей d-подуровня, обладают одинаковой энергией, поле которой имеет форму сферы. Если же ион попадает в создаваемое лигандами менее симметричное, чем сферическое, поле, то энергия d-электронов будет возрастать тем значительнее, чем ближе к лиганду расположено соответствующее электронное облако.

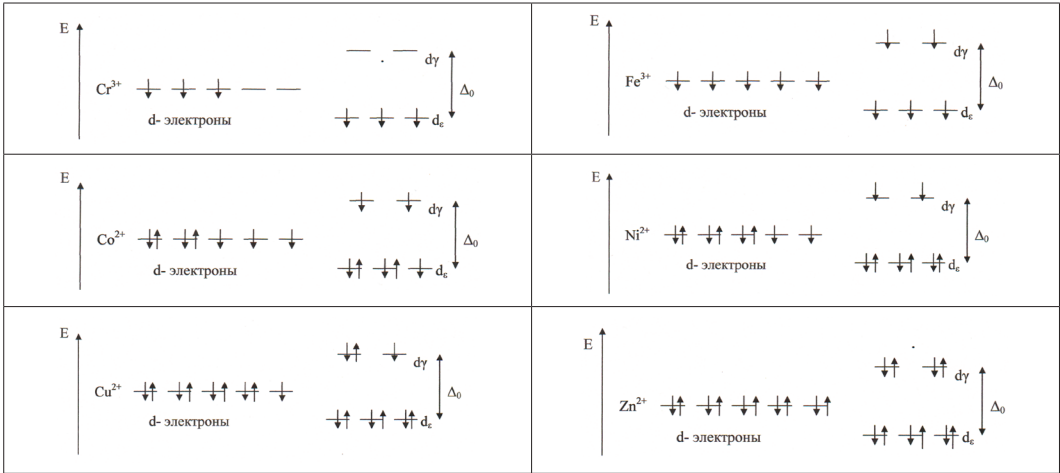
В октаэдрическом поле лигандов d-орбитали разделяются на две группы с разными энергиями; три орбитали (d_{xy} , d_{xz} и d_{yz}) с более низкой энергией (d_e -орбитали) и две орбитали ($d_{x^2-y^2}$ и d_z^2) с более высокой энергией (d_g -орбитали). В ионах хрома, железа, кобальта, никеля, меди и цинка d- электроны распределяются по d_e - и d_g -орбиталям в соответствии с правилом Хунда [12], как показано в табл. 2.

Таблица 2

Распределение электронов по атомным орбиталям
в кристаллическом поле лигандов ионов 3d элементов

Table 2

Distribution of electrons over atomic orbitals in the crystal field of ligand ions of 3d elements



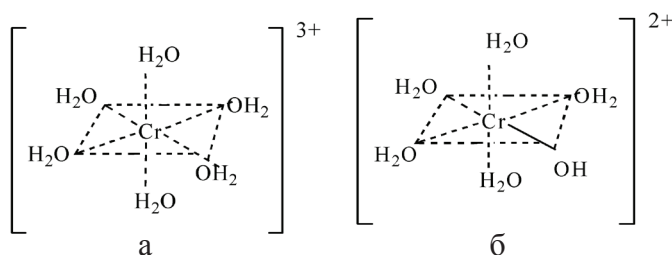


Рис. 2. Строение комплексных ионов хрома (III)

Fig. 2. Structure of complex chromium (III) ions

Разность между энергиями d_e - и d_γ -подуровней называется энергией расщепления и обозначается Δ . Если на подуровне d_γ есть незаполненная орбиталь, как у иона хрома (III), то при поглощении комплексным ионом света возможен переход электрона с нижнего энергетического подуровня d_e на d_γ -подуровень. Этот переход определяет цвет комплексного соединения, и энергия поглощаемого кванта света (E) равна энергии расщепления (Δ).

В расчете на 1 моль поглощающего вещества энергия расщепления составляет $\Delta = h \cdot c \cdot N_A / \lambda$ [11], где $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$ – число Авогадро, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с $^{-1}$ – постоянная Планка, $c = 3 \cdot 10^8$ м $\cdot$ с $^{-1}$ – скорость света, λ – длина волны поглощаемого света, нм.

Катионные аквакомплексы хрома (III) (рис. 2а) имеют октаэдрическое строение и окрашены в сине-фиолетовый цвет, растворы гидроксопентааквакомплексов хрома (III) – фиолетовые (рис. 2б).

Вхождение во внутреннюю сферу комплексного иона хрома (III) аниона серной кислоты вызывает характерное для растворов сульфата хрома зеленое окрашивание.

По данным анализа установлено, что максимальное поглощение света раствором сульфата хрома (III) наблюдается на оранжевом светофилтре с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Энергия расщепления (Δ_0) d-подуровней для октаэдрического иона хрома (III) кристаллическим полем лигандов при этом равна:

$$\Delta_0 = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / 6,0 \cdot 10^{-7} = 1,99 \cdot 10^5 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} = 199 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Для железа наиболее характерна степень окисления +3 независимо от кислотности среды. Ионы гексаакважелеза (III) в растворах в заметной концентрации присутствуют лишь в сильноокислой ($\text{pH} < 0$) среде. Максимальное поглощение света (на выбранном диапазоне длин волн) раствором железа (III) наблюдается на светофилтре с длиной волны 415 нм (рис. 1), что соответствует энергии расщепления d-подуровней для октаэдрического иона Fe (III) кристаллическим полем лигандов, равной $\Delta_0 = 287,2$ кДж $\cdot$ моль $^{-1}$.

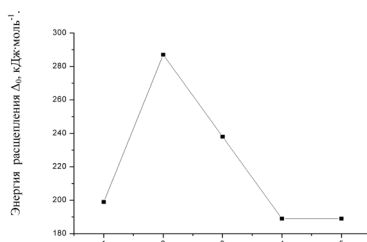


Рис. 3. Энергия расщепления (Δ_0) d-подуровней для октаэдрических комплексных ионов 3d элементов кристаллическим полем лигандов 1 – Cr(III), 2 – Fe(III), 3 – Co(II), 4 – Ni(II), 5 – Cu(II)

Fig. 3. Energy of splitting (Δ_0) of d-sublevels for octahedral complex ions of 3-d elements by the crystal field of ligands 1 – Cr(III), 2 – Fe(III), 3 – Co(II), 4 – Ni(II), 5 – Cu(II)

Имея высокосимметричную конфигурацию $d_e^3d\gamma^2$, в которой на каждой из пяти орбиталей находится по одному электрону (табл. 3), ион $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ практически бесцветен (имеет едва заметную бледно-фиолетовую окраску) Катион гексааквакобальта (II) присутствует в растворах сульфата, которым он придает розовую окраску. Энергия расщепления d-подуровней кристаллическим полем лигандов для октаэдрических аквакомплексов кобальта равна $238 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$ при максимальном поглощении света с длиной волны 500нм (рис. 1).

Ион гексаакваникеля (II) придает растворам сульфата яркую зеленую окраску. Максимальное поглощение света наблюдается при длине волны 630 нм (рис. 1), которому соответствует энергия расщепления d-подуровней кристаллическим полем лигандов, равная $\Delta_0 = 189,2 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

Ион гексааквамеди (II) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ придает растворам характерный для соединений меди (II) синий цвет. Максимальное поглощение света этим ионом наблюдается на красном светофильтре $\lambda = 630 \text{ нм}$ (рис. 1). Значение энергии расщепления $\Delta_0 = 189,2 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

На рис. 2 показана энергия расщепления d-подуровней октаэдрических (Δ_0) ионов 3d элементов кристаллическим полем лигандов.

Высокая энергия расщепления (Δ_0) d-подуровней для Fe (III) (рис. 3) обусловлена образованием высокоспинового комплекса $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, в отличие от аквакомплексов Cr(III), Ni(II) и Cu(II) (табл. 2).

В водных растворах сульфата цинка в кислой среде преобладают гексаакваионы $[\text{Zn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. В ионе гексааквацинка (II) отсутствуют свободные d_e - и d_γ -орбитали (табл. 2), что исключает d – d переход при поглощении кванта света, поэтому у таких растворов окраска отсутствует.

Анализ спектров растворов сульфатов 3d металлов показывает, что отличие в электронном строении комплексообразователей вызывает разное окрашивание растворов и максимальную оптическую плотность на разных светофильтрах. На оптическую плотность, вероятно, оказывает влияние не столько концентрация раствора, сколько строение комплексного иона, придающее растворам разнообразное окрашивание [10, 13].

Таблица 3

Спектральные характеристики растворов сульфатов 0,5% глицина (Gly) и 0,5% β-аланина (Ala) 3d элементов

Table 3

Spectral characteristics of solutions of sulfates of 0.5% glycine (Gly) and 0.5% β-alanine (Ala) 3d elements

3d элементы	Cr(III)	Fe(III)	Co(II)	Ni(II)	Cu(II)
λ , нм	600	415	500	630	630
A	0,37	0,34	0,51	0,32	0,66
A (0,5% Gly)	0,44	0,68	0,63	0,46	0,78
A (0,5% Ala)	0,56	0,72	0,68	0,51	0,82

Исследование спектров поглощения растворов сульфатов в присутствии 0,5% глицина (Gly) или β-аланина (Ala) (табл. 3) 3d элементов показало, что наличие этих аминокислот в растворах сульфатов 3d элементов не вызывает изменения геометрии комплексных ионов и энергии расщепления кристаллическим полем лигандов, наблюдается только увеличение поглощающей способности комплексных соединений.

Увеличение оптической плотности растворов сульфатов 3d элементов, очевидно, вызвано взаимодействием комплексных ионов с аминокислотами.

Заключение

Составлены электронные формулы атомов и ионов комплексообразователей, а также электронографические схемы распределения 3d электронов по атомным орбиталям в соответствии с ТКП и правилом Хунда.

Рассчитана энергия расщепления 3d подуровней кристаллическим полем лигандов для октаэдрических комплексных ионов в растворах сульфатов 3d элементов.

Установлено, что высокоспиновый аквакомплекс железа (III) обладает в сравнении с комплексными ионами других комплексообразователей наивысшим значением энергии расщепления 3d подуровней.

Показано, что в растворе сульфата цинка в ионе гексааквацинка (II) отсутствуют свободные $d_{x^2-y^2}$ - и d_{xy} -орбитали, что исключает $d-d$ переход при поглощении кванта света, поэтому у таких растворов окраска отсутствует.

Внесение глицина и β -аланина в растворы сульфатов 3d элементов вызывает увеличение оптической плотности растворов без изменения геометрии комплексных соединений, что свидетельствует о взаимодействии комплексных ионов металлов с аминокислотами, из которых состоят полипептидные цепочки коллагена.

На основании сравнительного анализа окрашенных растворов сульфатов 3d элементов спектрофотометрическим методом с раствором сульфата хрома (III) вытекает, что эти соединения, как и комплексный ион хрома (III), имеют октаэдрическую форму, которая не нарушается при взаимодействии с аминокислотами белка.

Литература

1. Андрунакиевич, А. Г. Перспективы развития Российской кожевенно-обувной промышленности в условиях экономического кризиса и всемирной пандемии коронавируса / А. Г. Андрунакиевич // Российский Союз кожевников и обувщиков. – Москва, 2020. – С. 6–15.
2. Исследование взаимодействия комплексов хрома (III) с органическими компонентами биополимера / Е. М. Гюльханданьян, В. М. Никольский, Е. С. Логинова, А. А. Яковлев // Известия АН. Серия химическая. – 2017. – № 5. – С. 908–914.
3. Дубиновский, М. З. Технология кожи / М. З. Дубиновский, Н. В. Чистякова. – Москва : Легпромбытиздат, 1991. – 320 с.
4. Панов, В. П. Органические примеси в стоках кожевенного производства / В. П. Панов, А. С. Пакшвер, Е. М. Гюльханданьян // Экология и промышленность России. – 2003. – С. 29–31.
5. Патент RU2129992C1 СССР. Способ регенерации отработанных растворов хромового дубления кожевенного производства / Панов В. П., Пакшвер А. С. – 1998.
6. Рециклизация коллагенсодержащих отходов кожевенной промышленности / Н. В. Советкин, Д. В. Шалбуев, В. Д. Раднаева, Т. Б. Тумурова // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 4. – С. 4–9.
7. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия / Ю. Д. Третьяков, А. А. Дроздов, В. П. Зломанов // Т. 3 : Химия переходных элементов. Кн. 2. – Москва : Академия, 2007. – 400 с.
8. Третьяков, Ю. Д. Неорганическая химия / М. Е. Тамм, Ю. Д. Третьяков // Т.1 : Физико-химические основы неорганической химии. – [2-е изд., испр.]. – Москва : Академия, 2008. – 240 с.
9. Отто, М. Современные методы аналитической химии. – [3-е испр. изд.] / М. Отто ; перевод с немецкого под редакцией Гармаша. – Москва : Техносфера, 2008. – 544 с.
10. Гюльханданьян, Е. М. Теоретические и практические основы аналитической химии : физико-химические методы анализа : учебное пособие / Е. М. Гюльханданьян. – Тверь : Тверский гос. университет, 2014. – 156 с.
11. Глинка, Н. Л. Задачи и упражнения по общей химии / Н. Л. Глинка, В. А. Рабинович, Х. М. Рубина. – Москва : Интеграл-пресс, 2008. – 240 с.
12. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия / Н. С. Ахметов. – [7-е изд. стер.]. – Москва : Высшая школа, 2008. – 743 с.

13. Комплексообразование в системе цинк (II)-хром (III)-кобальт (II)-глицин-вода / Н. Б. Березин, В. В. Чевела, Ж. В. Межевич, В. Ю. Иванова // Известия вузов : Химия и химическая технология. – 2023. – Т. 66. – Вып. 6. – С. 31–36.

References

1. Andrunakievich, A. G. (2020). Prospects for the development of the Russian leather and footwear industry in conditions of the economic crisis and the global coronavirus pandemic. Russian Union of Tanners and Shoemakers. Moscow, pp. 6-15.
2. Gyudkhandanyan, E. M., Nikolsky, V. M., Loginova, E. S., & Yakovlev, A. A. (2017). Study of the interaction of chromium (III) complexes with organic components of the biopolymer. Izvestia of Academy of Sciences. Chemical series, (5), 908-914.
3. Dubinovskiy, M. Z., & Chistyakova, N. V. (1991). Leather technology. Moscow: Legprombytizdat.
4. Panov, V. P., Pakshver, A. S., & Gyulkhandanyan, E. M. (2003). Organic impurities in tannery wastewater. Ecology and industry of Russia, pp. 29-31.
5. Patent RU2129992C1 USSR. (1998). Method for regenerating spent chrome tanning solutions from leather production. Panov V.P., Pakshver A.S.
6. Sovetkin, N. V., Shalbuev, D. V., Radnaeva, V. D., & Tumurova, T. B. (2023). Recyclization of collagen-containing waste from the tanning industry. Ecology and Industry of Russia, 27(4), 4-9.
7. Tretyakov, Yu. D., Drozdov, A. A., & Zlomanov, V. P. (2007). Inorganic chemistry: Chemistry of transition elements. Book 2. Moscow: Academy.
8. Tretyakov, Yu. D., & Tamm, M. E. (2008). Inorganic chemistry: Physico-chemical foundations of inorganic chemistry. (2nd ed., revised). Moscow: Academy.
9. Otto, M. (2008). Modern methods of analytical chemistry. (3rd rev. ed.). Moscow: Tekhnosphere.
10. Gyulkhandanyan, E. M. (2014). Theoretical and practical foundations of analytical chemistry: Physical and chemical methods of analysis. Tver: Tver State University.
11. Glinka, N. L., Rabinovich, V. A., & Rubina, Kh. M. (2008). Problems and exercises in general chemistry. Moscow: Integral-press.
12. Akhmetov, N. S. (2008). General and inorganic chemistry. (7th ed.). Moscow: Higher School.
13. Berезин, Н. Б., Чевела, В. В., Межевич, Ж. В., & Иванова, В. Ю. (2023). Complexation in the system zinc (II)-chromium (III)-cobalt (II)-glycine-water. Izvestia of universities: Chemistry and chemical technology, 66(6), 31-36.

ПАКШВЕР Анна Сергеевна – к. т. н., доцент кафедры общих дисциплин Чукотского филиала СВФУ им. М.К. Аммосова.

E-mail: pakshver@mail.ru

PAKSHVER Anna Sergeevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Disciplines of the Chukotka branch of the M.K. Ammosov North-Eastern Federal University.