



## **Химия. Заключительный этап**

Комплекс предметов

Категория участников: школьники 7-11 классов

Задания заключительного этапа XVI Всероссийской Олимпиады "Нанотехнологии - прорыв в будущее!" по химии. Задачи 1-5 – простые, задачи 6-8 – сложные.

### **Задания**

**1. Легированные пленки**

**2. Нановолокна из солей кальция**

**3. Реакция Сабатье**

**4. Композитные аэрогели**

**5. Кубические нанокристаллы**

**6. Благородная шпинель**

**7. Фотоэлектрохимическое разложение воды**

**8. Взаимодействие белка с наночастицами**

**ВСЕ ЗАДАЧИ СОБРАНЫ В ОДНОМ ФАЙЛЕ (справочные материалы - таблица Менделеева и таблица растворимости - приведены в конце файла):**



**Химия для школьников 7 – 11 класса (заключительный этап)  
Вариант II**

**Задача 1. Легированные пленки (8 баллов)**

Уникальными электрическими и оптическими свойствами пленок диоксида ванадия  $VO_2$  можно управлять путем введения добавок других оксидов, например,  $TiO_2$ . При легировании образуются твердые растворы состава  $V_xTi_yO_2$ .

1. Выразите  $y$  через  $x$ . **(2 балла)**
2. Найдите значение  $x$ , если пленка содержит 55,48 % ванадия по массе. Приведите расчет. Используйте значения  $A_r(V) = 50,94$ ,  $A_r(Ti) = 47,90$ . **(6 баллов)**

**Задача 2. Нановолокна из солей кальция (8 баллов)**

Биосовместимые волокнистые материалы были приготовлены из суспензии, содержащей поливиниловый спирт  $(C_2H_4O)_n$  (молекулярная масса 143 тыс. а.е.м.), гидрофосфат кальция  $CaHPO_4$  и карбонат кальция  $CaCO_3$ .

1. Рассчитайте степень полимеризации поливинилового спирта  $n$ . **(2 балла)**
2. Найдите мольное соотношение гидрофосфата и карбоната кальция в материале, если на его изготовление израсходовано 35 мл 1 М раствора ацетата кальция  $(CH_3COO)_2Ca$ , 40 мл 0,5 М раствора карбоната аммония  $(NH_4)_2CO_3$  и  $X$  мл 0,3 М раствора гидрофосфата аммония  $(NH_4)_2HPO_4$ . **(4 балла)**
3. Найдите  $X$  (подтвердите расчетом). **(2 балла)**

**Задача 3. Реакция Сабатье (8 баллов)**

Реакцией Сабатье называют полное восстановление углекислого газа водородом до метана. Применение нанокompозитных металлооксидных катализаторов позволяет осуществлять эту реакцию с высокой скоростью и селективностью. Последнюю величину определяют как мольную долю метана среди всех органических продуктов реакции.

1. Запишите уравнение реакции Сабатье. **(1 балл)**
1. Какие еще молекулярные продукты восстановления, содержащие один атом углерода, могут образоваться в реакции между углекислым газом и водородом? Напишите их формулы и укажите степень окисления углерода в них. **(2 балла)**
2. При каталитическом восстановлении углекислого газа образовалась смесь метана и формальдегида  $CH_2O$ , которая равна по плотности аммиаку. Рассчитайте селективность реакции по метану. **(5 баллов)**

#### **Задача 4. Композитные аэрогели (8 баллов)**

Аэрогели  $\text{SiO}_2$ , содержащие наночастицы серебра, имеют разнообразные потенциальные применения. Коллоидные растворы серебра получают восстановлением  $\text{AgNO}_3$  глюкозой  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , а коллоидные растворы  $\text{SiO}_2$  – гидролизом тетраэтоксисилана (ТЭС)  $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$  в присутствии  $\text{HCl}$ . В процессе получения аэрогелей из этих веществ новых химических превращений не происходит.

1. Напишите уравнения описанных выше реакций. Считайте, что молекула глюкозы при окислении присоединяет один атом кислорода. **(4 балла)**

Для синтеза использовано 15 мл 0,05 М раствора  $\text{AgNO}_3$  и 8,0 мл ТЭС (плотность 0,94 г/мл).

2. Сколько атомов кремния приходится на один атом серебра в полученном аэрогеле? Считайте, что в процессе синтеза потерь серебра и кремния не было. Приведите расчет. **(4 балла)**

#### **Задача 5. Кубические нанокристаллы (8 баллов)**

В результате взаимодействия хлорида индия  $\text{InCl}_3$  и нитрида лития  $\text{Li}_3\text{N}$  в толуоле при повышенной температуре были синтезированы полупроводниковые кубические нанокристаллы размером 12 нм и плотностью 6,9 г/см<sup>3</sup>.

1. Определите состав полупроводниковых нанокристаллов и напишите уравнение реакции их синтеза. **(2 балла)**
1. Почему в качестве растворителя был использован толуол, а не вода? Ответ обоснуйте, приведя уравнение химической реакции. **(3 балла)**
2. Определите число нанокристаллов, суммарная масса которых равна 2 мкг. **(3 балла)**

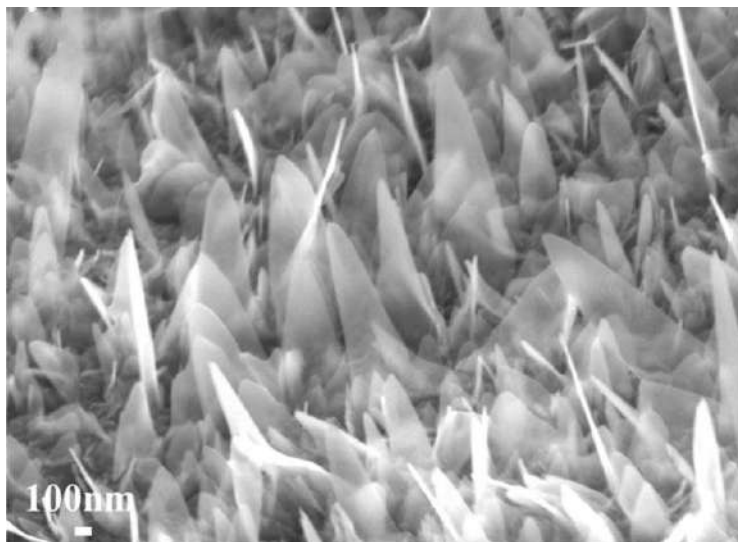
## Задача 6. Благородная шпинель (20 баллов)

Для синтеза приготовили водный раствор, содержащий 5,00 г нитрата двухвалентного металла **A**, 14,36 г нитрата трёхвалентного металла **B**, взятых в стехиометрическом соотношении, и 40,0 г лимонной (3-гидрокси-3-карбокспентандиовой) кислоты  $C_6H_8O_7$ . К полученному раствору прибавили избыток концентрированной азотной кислоты и прокипятили при постоянном перемешивании до полного испарения воды. В процессе кипячения исходный бесцветный прозрачный раствор загустел, превратившись в серый гель, а после окончания выделения газов и испарения остатков воды образовался серый пористый сухой продукт. В результате его отжига на воздухе при  $900^\circ C$  был получен белый нанокристаллический порошок благородной шпинели  $AB_2O_4$ .

1. Изобразите структурную формулу лимонной кислоты и объясните её роль в описанном синтезе. (3 балла)
2. Определите металлы **A** и **B**, если известно, что термическое разложение нитрата металла **A** приводит к уменьшению массы навески в 3,68 раза. Ответ подтвердите расчётом. Напишите уравнение реакции разложения нитрата металла **A**. (6 баллов)
3. Напишите уравнение реакции, приводящей к образованию серого сухого продукта. (2 балла)
4. Напишите уравнение реакции, происходящей при отжиге и приводящей к образованию наночастиц  $AB_2O_4$ . (2 балла)
5. Чем обусловлена серая окраска геля и пористого продукта до отжига? (2 балла)
6. Почему он обесцвечивается в результате отжига? Напишите уравнение реакции. (2 балла)
7. Рассчитайте массу синтезированного нанокристаллического порошка благородной шпинели. (3 балла)

### Задача 7. Фотоэлектрохимическое разложение воды (20 баллов)

Разложение воды на простые вещества может происходить под действием солнечного излучения. В одной из публикаций, появившейся в Nature в 2020 г, в качестве электродного материала для такого процесса были предложены пластинки из простого вещества **Y**, на поверхности которых находятся нанопроволоки **X** (см. фото).



Материал **X** получают нагреванием пластины **Y** в атмосфере газа **Z** (реакция 1). Для получения пластины вещества **Y** высокой чистоты поступают следующим образом. Порошок **Y**, содержащий примеси, нагревают под давлением в атмосфере газа **M**. При этом образуется желто-оранжевая жидкость **N**, разложением которой получают вещество **Y**, не содержащее примесей (реакция 2). Масса образующегося **Y** меньше массы **N** в 3,51 раза. Если же нагревание **N** проводить в атмосфере кислорода (реакция 3), то образуется вещество **X**, масса которого меньше массы **N** в 2,45 раза.

Вещество **Y** нагревают в атмосфере аргона до плавления и получают слиток. Газ **M** в лаборатории получают действием на одну из органических кислот концентрированной серной кислоты (реакция 4). Газ **Z** по одному из способов в лаборатории можно получить действием на гипохлорит натрия раствором пероксида водорода (реакция 5). Выделяющийся при этом газ для очистки пропускают через раствор гидроксида натрия.

1. Установите формулы веществ **X**, **Y**, **Z**, **M**, **N**. Ответ подтвердите расчётом. Запишите уравнения реакций 1-5. **(10 баллов)**
2. Объясните, почему нанопроволоки быстрее образуются на тех участках поверхности **Y**, которые были процарапаны напильником. **(1 балл)**
3. Запишите уравнения реакций, протекающих при взаимодействии **X** с соляной кислотой, водным раствором иодоводорода, при спекании с порошком карбоната бария. **(6 баллов)**
4. От какого вещества очищают газ **Z** пропусканием через раствор щелочи? Напишите уравнение возможной реакции. **(3 балла)**

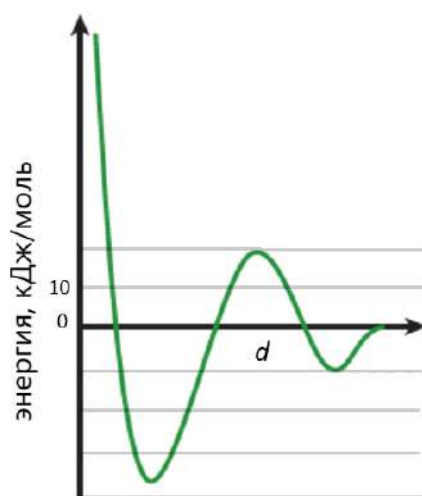
### Задача 8. Взаимодействие белка с наночастицами (20 баллов)

Наночастицы широко применяются в биомедицине. Их можно использовать для детектирования молекулярных биомаркеров, доставки лекарственных препаратов, терапии некоторых заболеваний. Первое, с чем сталкиваются наночастицы, попадая в организм, это – белки, которые представляют собой самый распространенный класс биологически активных веществ в живых организмах. Белки составляют около 75% массы твердых веществ организма и 90% массы твердых веществ крови. Поэтому очень важно понимать, как наночастицы взаимодействуют с белками. Основной белок крови человека – сывороточный альбумин. Его молекулярная масса – около 65 тыс. а.е.м., изоэлектрическая точка  $pI = 4.7$ .

1. Используя свои базовые знания по биологии, оцените общую массу белков в организме среднего человека и в крови среднего человека. Примите, что содержание воды в крови – 98% по массе. **(2 балла)**
2. Оцените (с точностью одна значащая цифра) число аминокислотных остатков в альбумине и радиус его молекулы (в нанометрах или ангстремах). Примите, что молекула имеет сферическую форму, а плотность белкового вещества близка к плотности воды. **(4 балла)**
3. К каким наночастицам – положительно заряженным, отрицательно заряженным или нейтральным альбумин – будет лучше притягиваться в растворе с  $pH = 7$ ? Объясните. **(2 балла)**

С помощью спектроскопических методов было изучено взаимодействие наночастиц золота диаметром 10 нм с альбумином. Оказалось, что в течение 24 ч молекулы альбумина образуют на поверхности золота устойчивую «корону», которая сохраняется даже при центрифугировании. Диаметр частицы с короной равен 16 нм.

4. Сколько слоев образует альбумин на поверхности наночастицы золота? **(2 балла)**
5. Оцените, сколько молекул альбумина входит в состав белковой «короны». **(4 балла)**



6. На графике выше изображена зависимость энергии системы «наночастица-белок» от расстояния  $d$  между ними. Определите, чему равны энергии активации для адсорбции белка на поверхности наночастицы и его десорбции с поверхности. Найдите теплоту (энтальпию) адсорбции. **(6 баллов)**

**Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева**

		Г р у п п ы										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
<b>п е р и о д ы</b>	<b>1</b>	<sup>1</sup> <b>H</b> 1,008 Водород						<b>(H)</b>				<sup>2</sup> <b>He</b> 4,00 Гелий
	<b>2</b>	<sup>3</sup> <b>Li</b> 6,94 Литий	<sup>4</sup> <b>Be</b> 9,01 Бериллий	<sup>5</sup> <b>B</b> 10,81 Бор	<sup>6</sup> <b>C</b> 12,01 Углерод	<sup>7</sup> <b>N</b> 14,00 Азот	<sup>8</sup> <b>O</b> 16,00 Кислород	<sup>9</sup> <b>F</b> 19,00 Фтор				<sup>10</sup> <b>Ne</b> 20,18 Неон
	<b>3</b>	<sup>11</sup> <b>Na</b> 22,99 Натрий	<sup>12</sup> <b>Mg</b> 24,31 Магний	<sup>13</sup> <b>Al</b> 26,98 Алюминий	<sup>14</sup> <b>Si</b> 28,09 Кремний	<sup>15</sup> <b>P</b> 30,97 Фосфор	<sup>16</sup> <b>S</b> 32,06 Сера	<sup>17</sup> <b>Cl</b> 35,45 Хлор				<sup>18</sup> <b>Ar</b> 39,95 Аргон
	<b>4</b>	<sup>19</sup> <b>K</b> 39,10 Калий	<sup>20</sup> <b>Ca</b> 40,08 Кальций	<sup>21</sup> <b>Sc</b> 44,96 Скандий	<sup>22</sup> <b>Ti</b> 47,90 Титан	<sup>23</sup> <b>V</b> 50,94 Ванадий	<sup>24</sup> <b>Cr</b> 52,00 Хром	<sup>25</sup> <b>Mn</b> 54,94 Марганец	<sup>26</sup> <b>Fe</b> 55,85 Железо	<sup>27</sup> <b>Co</b> 58,93 Кобальт	<sup>28</sup> <b>Ni</b> 58,69 Никель	
		<sup>29</sup> <b>Cu</b> 63,55 Медь	<sup>30</sup> <b>Zn</b> 65,39 Цинк	<sup>31</sup> <b>Ga</b> 69,72 Галлий	<sup>32</sup> <b>Ge</b> 72,59 Германий	<sup>33</sup> <b>As</b> 74,92 Мышьяк	<sup>34</sup> <b>Se</b> 78,96 Селен	<sup>35</sup> <b>Br</b> 79,90 Бром				<sup>36</sup> <b>Kr</b> 83,80 Криптон
	<b>5</b>	<sup>37</sup> <b>Rb</b> 85,47 Рубидий	<sup>38</sup> <b>Sr</b> 87,62 Стронций	<sup>39</sup> <b>Y</b> 88,91 Иттрий	<sup>40</sup> <b>Zr</b> 91,22 Цирконий	<sup>41</sup> <b>Nb</b> 92,91 Ниобий	<sup>42</sup> <b>Mo</b> 95,94 Молибден	<sup>43</sup> <b>Tc</b> 98,91 Технеций	<sup>44</sup> <b>Ru</b> 101,07 Рутений	<sup>45</sup> <b>Rh</b> 102,91 Родий	<sup>46</sup> <b>Pd</b> 106,42 Палладий	
		<sup>47</sup> <b>Ag</b> 107,87 Серебро	<sup>48</sup> <b>Cd</b> 112,41 Кадмий	<sup>49</sup> <b>In</b> 114,82 Индий	<sup>50</sup> <b>Sn</b> 118,69 Олово	<sup>51</sup> <b>Sb</b> 121,75 Сурьма	<sup>52</sup> <b>Te</b> 127,60 Теллур	<sup>53</sup> <b>I</b> 126,90 Иод				<sup>54</sup> <b>Xe</b> 131,29 Ксенон
	<b>6</b>	<sup>55</sup> <b>Cs</b> 132,91 Цезий	<sup>56</sup> <b>Ba</b> 137,33 Барий	<sup>57</sup> <b>La*</b> 138,91 Лантан	<sup>72</sup> <b>Hf</b> 178,49 Гафний	<sup>73</sup> <b>Ta</b> 180,95 Тантал	<sup>74</sup> <b>W</b> 183,85 Вольфрам	<sup>75</sup> <b>Re</b> 186,21 Рений	<sup>76</sup> <b>Os</b> 190,2 Осмий	<sup>77</sup> <b>Ir</b> 192,22 Иридий	<sup>78</sup> <b>Pt</b> 195,08 Платина	
		<sup>79</sup> <b>Au</b> 196,97 Золото	<sup>80</sup> <b>Hg</b> 200,59 Ртуть	<sup>81</sup> <b>Tl</b> 204,38 Таллий	<sup>82</sup> <b>Pb</b> 207,2 Свинец	<sup>83</sup> <b>Bi</b> 208,98 Висмут	<sup>84</sup> <b>Po</b> [209] Полоний	<sup>85</sup> <b>At</b> [210] Астат				<sup>86</sup> <b>Rn</b> [222] Радон
	<b>7</b>	<sup>87</sup> <b>Fr</b> [223] Франций	<sup>88</sup> <b>Ra</b> 226 Радий	<sup>89</sup> <b>Ac**</b> [227] Актиний	<sup>104</sup> <b>Rf</b> [261] Резерфордий	<sup>105</sup> <b>Db</b> [262] Дубний	<sup>106</sup> <b>Sg</b> [266] Сиборгий	<sup>107</sup> <b>Bh</b> [264] Борий	<sup>108</sup> <b>Hs</b> [269] Хассий	<sup>109</sup> <b>Mt</b> [268] Мейтнерий	<sup>110</sup> <b>Ds</b> [271] Дармштадтий	
		<sup>111</sup> <b>Rg</b> [280] Рентгений	<sup>112</sup> <b>Cn</b> [285] Коперниций	<sup>113</sup> <b>Nh</b> [286] Нихоний	<sup>114</sup> <b>Fl</b> [289] Флеровий	<sup>115</sup> <b>Mc</b> [290] Московский	<sup>116</sup> <b>Lv</b> [293] Ливерморий	<sup>117</sup> <b>Ts</b> [294] Теннесси				<sup>118</sup> <b>Og</b> [294] Оганесон

\* Лантаноиды

<sup>58</sup> <b>Ce</b> 140 Церий	<sup>59</sup> <b>Pr</b> 141 Празеодим	<sup>60</sup> <b>Nd</b> 144 Неодим	<sup>61</sup> <b>Pm</b> [145] Прометий	<sup>62</sup> <b>Sm</b> 150 Самарий	<sup>63</sup> <b>Eu</b> 152 Европий	<sup>64</sup> <b>Gd</b> 157 Гадолиний	<sup>65</sup> <b>Tb</b> 159 Тербий	<sup>66</sup> <b>Dy</b> 162,5 Диспрозий	<sup>67</sup> <b>Ho</b> 165 Гольмий	<sup>68</sup> <b>Er</b> 167 Эрбий	<sup>69</sup> <b>Tm</b> 169 Тулий	<sup>70</sup> <b>Yb</b> 173 Иттербий	<sup>71</sup> <b>Lu</b> 175 Лютеций
-----------------------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------	----------------------------------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------	-----------------------------------------------	-------------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------------	--------------------------------------------	-------------------------------------------

\*\* Актиноиды

<sup>90</sup> <b>Th</b> 232 Торий	<sup>91</sup> <b>Pa</b> 231 Протактиний	<sup>92</sup> <b>U</b> 238 Уран	<sup>93</sup> <b>Np</b> 237 Нептуний	<sup>94</sup> <b>Pu</b> [244] Плутоний	<sup>95</sup> <b>Am</b> [243] Америций	<sup>96</sup> <b>Cm</b> [247] Кюрий	<sup>97</sup> <b>Bk</b> [247] Берклий	<sup>98</sup> <b>Cf</b> [251] Калифорний	<sup>99</sup> <b>Es</b> [252] Эйнштейний	<sup>100</sup> <b>Fm</b> [257] Фермий	<sup>101</sup> <b>Md</b> [258] Менделеевий	<sup>102</sup> <b>No</b> [259] Нобелий	<sup>103</sup> <b>Lr</b> [262] Лоуренсий
-----------------------------------------	-----------------------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------------	----------------------------------------------	----------------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------	------------------------------------------------	------------------------------------------------	---------------------------------------------	--------------------------------------------------	----------------------------------------------	------------------------------------------------

**РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ**

	H <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
OH <sup>-</sup>		P	P	P	P	P	M	H	M	H	H	H	H	H	H	-	-	H	H	H
F <sup>-</sup>	P	M	P	P	P	M	H	H	H	M	H	H	H	P	P	P	-	H	P	P
Cl <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	M	P	P
Br <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	M	M	P	P
I <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P	?	P	P	H	H	H	M	?
S <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	-	-	-	H	-	-	H	-	H	H	H	H	H	H	H
HS <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	H	M	H	?	-	H	?	?	M	H	H	H	?	?
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	M	P	H	P	P	P	P	P	P	M	-	H	P	P
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	H	?	?
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	M	?	?	?	?
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P	H	P	P	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	?	P	P	P	H	H	M	H	?	?	H	?	H	?	?	?	M	H	?
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	P	P	P	?	-	?	?
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	H	H	H	?	?	H	-	H	H	H	H	H	?	H
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	?	?	?	?	P	?	?
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	-	P	P	P	P	P	-	P
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	H	H	P	P	?	H	H	H	H	?	?	H	?	H	H	?	?	H	?	?
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	P	?	?	?	?	?
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	M	P	?	H	?	?	?	P	?	?	H	H	M	?	P
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	P	P	H	?	?	?	H	H	H	H	H	H	H	H
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	P	P	P	P	?	P
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	P

«P» – растворяется (> 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O); «M» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O);  
 «H» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды); «-» – в водной среде разлагается  
 «?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

**РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ**

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H<sub>2</sub>) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au →  
 активность металлов уменьшается