

И. И. Синчук

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО СТЕКЛА ИЗ РАСКОПА 1989 г. В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ МОГИЛЁВА (оптический спектральный анализ)

*Для работы изучены 180 фрагментов стеклянных изделий из культурного слоя конца XVI — начала XX в. исторической части г. Могилёва. Технологический экскурс посвящен сырью для производства стекла и знакомит с дореволюционной производственной стекольной литературой. Использован метод полуквантитативного оптического спектрального анализа по индексам атласа спектральных линий. Для передачи результатов используется конвенциональный общетехнический способ.*

**Ключевые слова:** белорусское Приднестровье, XVII—XIX вв., городская материальная культура, стекольное дело, шихта, археологическое стекло, оптический спектральный анализ.

### ХАРАКТЕРИСТИКА РАСКОПА И МАТЕРИАЛА

Археологическая экспедиция Белорусского реставрационного проектного института под руководством автора в 1989 г. осуществляла раскопки в историческом центре Могилёва (Нагорский посад — Нагорская сотня). Исследования проводились в зоне застройки дома 7А по ул. Ленинской, рядом с бывшей Ставкой Верховного Главнокомандующего армией и флотом Российской империи Николая II (1915—1917 гг.) на Губернаторской площади (ранее Торговой, затем Советской), к востоку от городской Ратуши (позднее пожарной каланчи), между улицами Ленинской (старые названия Ветряная, Большая Садовая, Инженерная) и Вал Красной Звезды (Архиерейский вал), на расстоянии 12,0 м к западу от здания 12-го строительного треста, ныне Управления Следственного комитета Республики Беларусь по Могилёвской области (восточная линия квадратов). Раскоп 1989 г. располагался между Ратушей и комплексом зданий архиерейского подворья

(рис. 1). Площадь исследований составила 2060 м<sup>2</sup> (Синчук 1990а; 1990б; 1990с). Общая мощность культурных отложений — от 1,3 до 1,9 м. В их структуре удалось выделить слой гумусированного грунта темно-серого цвета с материалом XVI—XVIII вв. Его мощность — 0,40—0,70 м. Наблюдается сильное понижение культурного слоя в направлении р. Днепр (в сторону ул. Вал Красной Звезды) в соответствии с естественным профилем склона. Кроме того, исследовалось заполнение остатков хозяйственных построек XVIII—XIX вв. и ям с материалом XVI—XVII вв., впущенных в материк. Культурный слой в значительной степени поврежден многочисленными перекопами, связанными, в том числе, с сооружением и функционированием жилых и хозяйственных построек.

В процессе раскопок была собрана большая коллекция стеклянных изделий XVII — начала XX вв. Их общее количество составляет свыше 12 тыс. фрагментов, из них 2/3 — стенки бутылок и кварт, шклянницы, около 1/3 — их донца и горловины. Также найдено более 1 тыс. фрагментов оконного стекла (отнесено к строительным материалам) (Синчук 2009).

Датировка материала производилась по аналогиям (см. напр. Синчук 2013). По принятой автором схеме подготовки отчета все отобранные для физико-химического изучения образцы вошли в коллекционную опись, были зарисованы и сфотографированы со своим номером категории «Стекло» с буквенным индексом «Ш» (шкло). То есть каждый образец получил единый номер для графической фиксации, физико-химического анализа и т. д. (табл. 1; приложение).

Полные формы стеклянных изделий XVII—XIX вв. в раскопе практически не встречаются. Отобранные образцы (табл. 1, рис. 5; 6) являются массовым археологическим материалом.



**Рис. 1.** Могилев, вид на исследованный участок: 1 — застройка между ул. Ленинской и Вал Красной Звезды (ул. Архиерейский вал). Слева направо вдоль ул. Архиерейский вал: восстановленная Ратуша, жилой дом 7А, здание Управления Следственного комитета Республики Беларусь по Могилевской области, бывший Архиерейский дворец; 2 — со стороны Днепра в начале XX в.; 3 — со стороны ул. Ленинской в начале XX в.



Выборка составила 1,5 % от всех находок фрагментов стеклянных изделий. Выборка не является пропорциональной, поскольку цель ее создания не требовала равного долевого представления предметов.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

Все изученные пробы археологического стекла из раскопа I исторического центра Могилева 1989 г. относятся к неорганическому оксидному стеклу класса силикатного с различными группообразующими компонентами.

Основным компонентом является оксид кремния, обычно в виде кварцевого песка — мелкообломочной нецементированной породы с зернами кварца размера 0,5—2,0 мм.

Стекло — это сплав различных силикатов с избытком диоксида кремния. Принято состав стекломассы передавать в оксидной форме в массовых процентах компонентов, что удобно для промышленного производства. В состав стекломассы соответствующие оксиды вводятся в виде различных компонентов сырья, которые реагируют во время варки стекла с удалением воды и химически связанных газов, при расчете состава шихты количество оксида в соответствующем компоненте рассчитывается с помощью гравиметрического коэффициента (Матвеев 1972; Тыкачинский 1977; Шелби 2006, с. 38—39).

При образовании стекла все составляющие теряют кристаллическую структуру и образуется гомогенная изотропная квазиаморфная масса: «Как многокомпонентная система стекло пред-

ставляет собой в физико-химическом отношении затвердевший расплав, образованный твердыми, жидкими и газообразными веществами» (Безбородов 1968, с. 399). Качественное стекло имеет уровень однородности около 98 %. В состав стекла входят от 5 до 12 компонентов, но его свойства зависят не только от химического состава, но и от режима стеклования — скорости охлаждения расплава («студки») и температуры до которой он был нагрет (Полляк и др. 1983, с. 12—13).

Сохранились рецепты силикатного стекла середины XVIII в. Так, на одной из гут Российской империи в 1755 г. в состав шихты для хрустального стекла входило в весовых процентах 48 % кварцевого песка (стеклообразующий диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ ), 32 % калиевой селитры (нитрит калия  $\text{KNO}_3$ ), 19 % свинцового сурика (плюмбат свинца

Состав зеленого стекла состоит из:	
1000 фунтов песку по 6 коп. за пуд . . . . .	1 руб. 50 коп.
400 » известняка по 6 коп. за пуд . . . . .	— 60 »
240 » глауберовой соли по 75 коп. за пуд . . . . .	4 » 50 »
20 » угля и вместе издержки на обработку . . . . .	— 30 »
<hr/>	
1660 фунтов состава . . . . .	6 руб. 90 коп.
Для варки употребляется:	
3500 фунтов каменного угля	
1000 » » » для работы	
4500 фунтов каменного угля, по 5 1/2 коп. за пуд . . . . .	6 руб. 20 коп.
Проценты на капитал, поддержание горшков и орудий, управление и проч. на это количество составят . . . . .	1 руб. 85 »
Рабочая плата . . . . .	6 » 30 »
<hr/>	
	14 руб. 35 коп.
<hr/>	
	Всего 21 руб. 25 коп.

**Рис. 2.** Фрагмент работы Д. И. Менделеева «Стекло — линное производство»

**Таблиця 1.** Описание стеклянных образцов из г. Могилёва, отобранных для изучения состава по оптическим спектрам (рис. 5; 6, номеру блока с индексом «А» соответствует «лист» таблицы)

Лист	№	Определение вещей	Датировка, вв.
88	1—4	Резервуары керосиновых ламп	Начало XX
89	5, 6	Цилиндрические бутылки	Конец XIX — XX
89	7	Пивная бутылка завода Э. Ф. Яника в Могилевской губернии	XVIII—XIX
90	8—15	Горловины цилиндрических бутылок	XIX
90	16, 17	Венчики банок	XIX
91	18—24	Горловины цилиндрических бутылок	XIX
92	25—31	То же	XVII—XIX
93	32, 33	Донца шароподобных бутылок	XVII
93	34—38	Донца цилиндрических бутылок	XVIII—XIX
93	39	Донца сосудов	XVII—XVIII
93	40—45	Фрагменты толстостенного стекла	XVII
94	46—49	Горловины и донца фляг	XVII — первая половина XVIII
95	50	Горловина и донце фляги	XVII
95	51, 52	Горловины кварта	XVII—XVIII
96	53—55	То же	XVII—XVIII
97	56—58	То же	XVII—XVIII
98	59—67	Донца кварта	XVII—XVIII
98	68	Венчик миски	XVIII
99	69, 70	Бокалы	Конец XIX
99	71—73	Шкляницы	Конец XIX
99	74, 75	Опорные диски бокалов	XVIII
100	76—79	Ручки сосудов	XVII—XVIII
100	80—83	Венчики и донца сосудов	XVII—XVIII
101	84—86	Донца формованных шкляниц	XVIII—XIX
101	87—90	Донца рифлёных шкляниц	XVII—XIX
102	91—93	Донца шкляниц на волнистом поддоне-жгуте	Конец XVI — XVII
102	94	Донце кубка на рифлёном поддоне-жгуте	XVII
102	95	Венчик жбана с орнаментальным жгутом	XVII
102	96	Донце шестиугольной шкляницы	Конец XVI — XVII
102	97	Венчик сосуда с орнаментированным жгутом	XVII
103	98—103	Донца шкляниц	XVII—XVIII
104	104	Донце кружки	XVII—XVIII
104	105—110	Донца шкляниц зеленоватого стекла, диаметр 2,5 см	XVII—XVIII
104	111—129	То же, диаметр 3,0 см	XVII—XVIII
104	130—143	То же, диаметр 3,5 см	XVII—XVIII
104	144—151	То же, диаметр 4,0 см	XVII—XVIII
104	152—159	То же, диаметр 4,5 см	XVII—XVIII
104	160, 161	Донца шкляниц прозрачного стекла, диаметр 3,0 см	XVII—XVIII
104	162—169	То же, диаметр 3,0 см	XVII—XVIII
104	170—173	То же, диаметр 3,5 см	XVII—XVIII
104	174, 175	То же, диаметр 4,0 см	XVII—XVIII
104	176, 177	То же, диаметр 4,5 см	XVII—XVIII
104	178	Оконное стекло	XVIII
104	179	Опорный диск бокала	XVIII
104	180	Бокал с синей верхней частью	Первая половина XX

Pb<sub>2</sub>PbO<sub>4</sub>), остальные 1,2 % — осветлители (оксиды марганца и мышьяка). «Белое» стекло имело шихту из кварцевого песка и 48 % поташа (карбонат калия или углекислый калий K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Зеленое или лесное стекло делалось из шихты с 50 % обычного силикатного песка с загрязнением окислами железа, 33 % поташа и 17 % березового пепла (неочищенный поташ — калиевый растительный пепел) (Алексеева 2009, с. 88).

Один из рецептов натриево-кальциево-силикатного стекла приводит с ценами сырья и продукции Д. И. Менделеев в работе 1864 г. «Стеклопроизводство» (рис. 1) (Менделеев 1952, с. 270—271). Глауберова соль или мирабилит в виде природного минерала — это десятиводный кристаллогидрат сульфата натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·10H<sub>2</sub>O, синтезирована немецким алхимиком Иоганном Рудольфом Глаубером в 1648 г. воздействием серной кислоты на хлорид натрия 2NaCl + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 2HCl при сильном нагревании (при 500—550 °C) и последующем выпадении кристаллов декагидрата сульфата натрия в осадок при температуре ниже 32,384 °C в присутствии воды.

Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона сообщает о фабричных рецептурах европейского зеленого стекла на рубеже XIX—XX вв.: шихта из 100 частей гнейса (SiO<sub>2</sub> — 64 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 14 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 6,4 %, CaO + MgO — 5 %, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O — 7,6 %), 60 частей песка (SiO<sub>2</sub> — 90 %, остальное Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 70 частей известняка (CaCO<sub>3</sub> — 91 %, 9 % — SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и остальное сода. Стекло имело оксидный состав 2SiO<sub>2</sub>, 0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,7CaO, 1,7 % щелочных окислов и 5 % окислов железа. Гнейс — горная порода, которая требовала дробления перед введением в шихту. Практика дробления сырья зафиксирована письменными источниками в Европе с XVI в. Так, Иоганн Матезиус в трактате *Sarepta Oder Bergpostill* (Nurnberg 1562) относительно немецких гут утверждает следующее «Некоторые имеют свой собственный песок, другие дробят прозрачный кварц и гальку» (Dillon 1907, p. 263). Также Георгий Агрикола в 1556 г. о сырье для изготовления стекла пишет: «Камни надлежит сначала обжечь и раздробить в ступе, потом просеять» (Agricola 1912, p. 585).

На российских заводах место гнейса занимает суглинок с близким содержанием оксидов ( $\text{SiO}_2$  — 70 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 14,5 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 3 %,  $\text{CaO} + \text{MgO}$  — 3 %,  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  — 4,5 %) (В. Ш. 1901, с. 571—572). Согласно словарю Брокгауза и Ефрона суглинистая почва — это почвы с соотношением глина — песок 1 : 3,5, но легкие суглинки имеют эти отношения от 1 : 5 до 1 : 6 (Отоцкий 1901). Гнейсы соответственно определяются как горная порода из калийного полевого шпата, кварца и слюды с составом  $\text{SiO}_2$  60—75 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10—15 %, остальные 15—20 % известь, окислы железа, магнезия, калия, натрия и вода (Поенов 1893).

В состав обычного «лесного» стекла входили окислы кислотной группы  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , щелочноземельные металлы  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ , щелочного металла  $\text{K}_2\text{O}$  (Кульман 1968, с. 447). Оно окрашено в зеленый цвет сильными хромофорами — катионами железа. За счет песка в стекло попадает приблизительно 40 % оксидов железа (Мелкоян 2002, с. 17—18).

Хромофорные ионы  $\text{Fe}^{2+}$  окрашивают стекло в дополнительный голубой цвет (поглощают желтые и красные волны спектра длиной 600 нм), а  $\text{Fe}^{3+}$  — в желтоватый (поглощают синие и фиолетовые волны длиной 500 нм). В результате стекло приобретает зеленоватую окраску.

Сильные растворы этанола не вступают в реакцию со стеклом в отличие от воды и цвет стекла не влияет на условия хранения водок (Макеева и др. 2009).

При соответствующих процедурах из богатого окислами железа сырья можно получить бесцветное стекло. Химическими обесцвечивателями являются сульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , хлорид натрия  $\text{NaCl}$ , нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , а также оксиды мышьяка  $\text{As}_2\text{O}_3$ , сурьмы  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  и марганца  $\text{MnO}_2$ , которые переводят ионы железа  $\text{Fe}^{2+}$  в трехвалентное состояние. Диоксид марганца является еще и физическим обесцвечивателем — он окрашивает стекло в дополнительный тон цвета, что увеличивает эффект устранения цвета за счет снижения светопропускания. В печи диоксид марганца разлагается на оксид марганца и кислород. Кислород окисляет закиси железа в трехвалентную окись, что удаляет голубой цвет стекла и добавляет зеленовато-желтоватый цвет, а оксид марганца красит стеклянную массу в ярко-розовый цвет, который является дополнительным к зеленовато-желтоватому цвету оксида железа и нейтрализует его, что делает зеленое стекло бесцветным. Обычно добавка  $\text{MnO}_2$  составляет 0,15—0,35 % от массы шихты. О свойствах «фальшивого магнита» или «бурого камня» (немагнитного минерала пиралюзита — природного диоксида марганца  $\text{MnO}_2$ ) лишать стекло цвета писал в античные времена Плиний Старший и пересказал в 1556 г. Георгий Агрикола в работе «De re metallica» (Agricola 1912, p. 585—586).

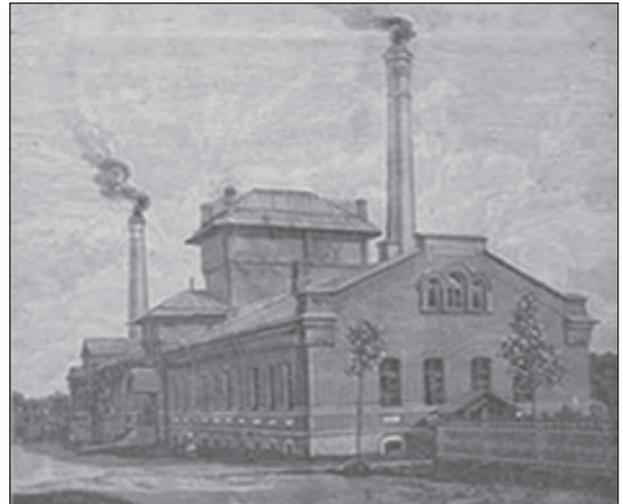


Рис. 3. Специализированный российский стеклозавод конца XIX в. в Санкт-Петербурге

Табл. 2.—Химический состав зеленых бутылочных стекол.

№№	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MnO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
1	61,75	7,10	19,60	4,55	2,43	0,11	—	4,10
2	61,90	9,72	21,34	—	3,98	—	2,01	4,17
3	63,34	5,00	17,24	1,33	2,45	0,32	0,04	6,82
4	65,00	6,00	16,24	2,34	1,10	—	1,55	5,97
5	60,20	14,92	12,20	—	2,09	1,27	—	9,13
6	74,78	1,01	5,87	3,22	1,07	—	—	15,75
7	71,90	1,24	10,50	0,10	1,76	—	—	14,50

Рис. 4. Фрагмент из статьи И. Китайгородского «Бутылочное производство» в «Технической энциклопедии» 1928 г.

Эффект сольаризации заставил в результате отказаться от использования марганца с целью получения бесцветного стекла: изменение валентности марганца  $\text{Mn}^{2+} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Mn}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$  под длительным воздействием ультрафиолетового излучения ведет к фиолетовой окраске бесцветного стекла (Шелби 2006, с. 246—247).

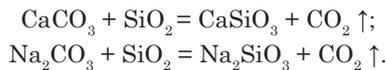
Оксид олова  $\text{SnO}$ , а в больших количествах и трехокислы мышьяка  $\text{As}_2\text{O}_3$  и сурьмы  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  являются глушителями — придают стеклу молочный цвет. Ранее в качестве глушителя использовался фосфат кальция  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  в виде костной муки (Отоцкий 1901, с. 48—49; Дау-вальтер 1936; ред. Китайгородский, Сильвестрович 1963, с. 197—202; Кутолин, Нейч 1988, с. 88; Микоша 1991; Саркисов, Орлова 1995, с. 423).

В 1556 г. Георгий Агрикола в работе «De re metallica» привел несколько рецептов стекла: одну часть кварцевого песка на одну часть соды или каменной соли, либо одну часть кварцевого песка на две части золы дуба, бука или сосны и немного морской соли (Agricola 1912, p. 585).

Современное натриево-кальциевое стекло формул  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 3\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O} \times 3\text{CaO} \times 6\text{SiO}_2$  или  $\text{Na}_2\text{O} \times 2\text{CaO} \times 3\text{SiO}_2$  (ранее состав

«хорошего обычного стекла» определялся как  $\text{Na}_2\text{CaSi}_6\text{O}_{16}$  (Шарвин 1919, с. 269) получают сплавлением кварцевого песка  $\text{SiO}_2$ , известняка  $\text{CaCO}_3$  и кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Оксид натрия (вводится в шихту в виде соды) влияет как сильный флос — температура плавки двухкомпонентного натриево-силикатного стекла с  $2000^\circ\text{C}$  понижается приблизительно на  $900^\circ\text{C}$  по сравнению с чистым оксидом кремния.

Химизм процессов варки стекла на стадии силикатообразования в твердой фазе в упрощенном виде следующий (Кешишян 1965, стб. 1030):



Добавка в шихту извести и небольшого количества оксидов  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  делает стекло прочным в контакте с влажным воздухом и водой.

В настоящем около 90—95 % производимого стекла относится к известковому из-за дешевизны компонентов шихты и его достаточно высокой технологичности в производстве изделий.

По современным требованиям в песке марки Т для производства темно-зеленого бутылочного стекла содержание оксидов должно быть следующее: оксид кремния  $\text{SiO}_2$  не менее 95 %, оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  не более 4 %, оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  не нормирован (может быть более 0,25 %). Тяжелые фракции окислов хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , титана  $\text{TiO}_2$  и вольфрама  $\text{V}_2\text{O}_5$  присутствуют во всех песках (ГОСТ 22551-77, с. 5—6).

Оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  играет особую роль — его повышение в составе стекла позволяет повысить долю  $\text{SiO}_2$  в составе стекла при устойчивости стекловидного состояния; молярные соотношения  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  обычно поддерживаются в пределах 0,1—0,15 (Аппен 1974, с. 190).

За присутствие в небольших количествах калия и алюминия в стеклянных изделиях может быть ответственным полевой шпат — природный силикат, который попадает в шихту вместе с зернами кварцевого песка с включениями этого минерала. Он представляет собой алюмосиликат щелочных металлов, который часто состоит из смесей калиевого  $\text{K}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$ , натриевого  $\text{Na}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$  и кальциевого  $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$  полевого шпата.

Добавляют микропримеси и слюды: белая калийная слюда мусковит  $\text{K}_2\text{O} \times 3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  и черная железомagneзиальная слюда биотит  $\text{K}_2\text{O} \times 6(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ .

Еще одна группа, дающая микропримеси — оксиды железа: гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , закисно-окисный магнитный железняк  $\text{FeO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$  с содержанием железа в двух окисных состояниях, ильменит  $\text{FeO} \times \text{TiO}_2$  и другие, а также гидраты оксидов железа типа лимонита или, иначе, болотной руды  $\text{FeOOH} \cdot (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ . Встречаются как в кавернах песчинок, так и в виде поверхностной оболочки. Также кварцевые пески содержат карбонаты: кальцит  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$ , доломит  $\text{CaCO}_3$ , сидерит  $\text{FeCO}_3$  (Кукуй, Андрианов 2005, с. 37, 40—41). Процедура обогащения песков в разы снижает содержание оксидов железа (Полляк и др. 1983, с. 59—61).

В дополнение в стекло попадает и некоторое количество глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3$  со стенок стекловаренного горшка или футеровки ванны.

В первой половине XX в. требования к химическому составу стекла зеленых бутылок в СССР располагались в довольно широких пределах:  $\text{SiO}_2$  от 60 до 75 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  от 4 до 16 %,  $\text{K}_2\text{O}$  от 1 до 3 % (вместе с  $\text{Na}_2\text{O}$  6—16 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  от 1 до 6 %,  $\text{CaO}$  от 6 до 21 %,  $\text{MgO}$  от менее 1 до 4 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  от 1 до 4 %,  $\text{MnO}$  — менее 1 % (Китайгородский 1928, стб. 112; 1933, стб. 26).

Обобщенный состав современного силикатного неспециализированного преимущественно натриево-кальциевого стекла в зависимости от назначения представлены в табличном виде ниже (согласно третьего издания Большой советской энциклопедии; Павлушкин 1970, с. 471) (табл. 2).

В первой половине XX в. в Российской империи и СССР в весовых частях шихта для изготовления бутылочного стекла делалась приблизительно следующая (табл. 3).

Вместо извести в большем количестве с коэффициентом 1,8 мог применяться известняковый камень (кальцит с примесью). Мог быть использован и мел с содержанием карбонатов кальция  $\text{CaCO}_3$  от 91 до 98 %. По месторождениям СССР собственно оксид кальция в связанном состоянии в меле содержится в долях от 47 до 55 %, оксид кремния от 1 до 2 %, оксид магнезии  $\text{MgO}$  содержится в количестве от 0,1 до 2 %, оксид алюминия от долей процента до 4 %, оксиды железа от 0,1 до 0,5 % от общего веса (Савченко 1961, с. 46; Варгин 1962, с. 10; Никольский 1968, с. 707; Кульский и др. 1980, с. 74).

Выбор сырья для шихты в значительной степени зависит от теплотрат на процесс преобразования в компоненты стекломассы. На-

Таблица 2. Состав современного промышленного стекла

Стекло	Химический состав в оксидах							
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SO}_3$
Оконное	71,8	2,0	4,1	6,7	14,8	—	0,1	0,5
Тарное	71,5	3,3	3,2	5,2	16	—	0,6	0,2
Посудное	74	0,5	—	7,45	16	2	0,05	—

Таблица 3. Шихта бутылочного стекла, весовые части

Стекло	Основные компоненты шихты		
	Песок	Сода	Известь
Мягкое	100	41,2	9,3
Среднее	100	38,3	10,8
Твердое	100	35,3	12,4
Машинное	100	36—38	10,5

пример, поташ  $K_2CO_3$  требует почти в два раза меньше затрат топлива по сравнению с калиевой селитрой  $KNO_3$  для образования силикатов калия  $K_2SiO_3$ , гипс  $CaSO_4 \times 2H_2O$  по сравнению с известняком  $CaCO_3$  или доломитом  $CaCO_3$  и  $MgCO_3$  требует значительно меньших затрат для образования силикатов кальция  $CaSiO_3$  (Полляк и др. 1983, с. 125).

Качество стекла с точки зрения химической прочности зависит от содержания в нем щелочи — слабокислотные вина реагируют при высоком содержании в стенках начинки щелочных компонентов со стеклом с образованием осадка виннокислых солей калия, кальция и алюминия.

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СТЕКЛА

При помощи оптического спектрального анализа исследованы микроэлементный состав и выявлены стеклообразующие элементы 180 стеклянных изделий (приложение). Среди них 87 шкляниц (стаканов), 2 кубка (кружки), 5 бокалов, 2 шарообразные бутылки, 23 цилиндрические бутылки, 15 кварт (штофов), 5 фляг, 3 резервуара керосиновых ламп (рис. 5; 6).

Содержание микропримесей при использовании метода оптической спектрографии определяется полуколичественно, с точностью в половину порядка. Стеклообразующие элементы точно определяться не могут, можно только предполагать, что их содержание более 10 %.

Известен верхний предел содержания оксидов-сеткообразователей. В бинарных системах возможно стеклообразование, если содержание  $Na_2O$  или  $K_2O$  и  $CaO$  в суммарных процентах не превышает 56—57 % (Шульц, Мазурин 1988, с. 26).

Стоит написать несколько слов о выборе метода исследования стеклянных изделий и данных для сравнения.

Полный химический анализ одной пробы (четырёх навесок) стекла по восьми элементам ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ) обычно продолжается 2—3 рабочих дня (Павлушкин, Сентюрин, Ходаковская 1970, с. 76), поэтому был выбран значительно менее затратный полуколичественный оптический анализ с определением элементов по индексам атласа спектральных линий.

Показано экспериментально, что при растирании пробы стекла в кварцевой или агатовой ступке происходит загрязнение навески микропримесями железа, алюминия, магния и кальция (Тысовская и др. 1974), поэтому проводился непосредственный анализ подготовленной поверхности образца стеклянного изделия.

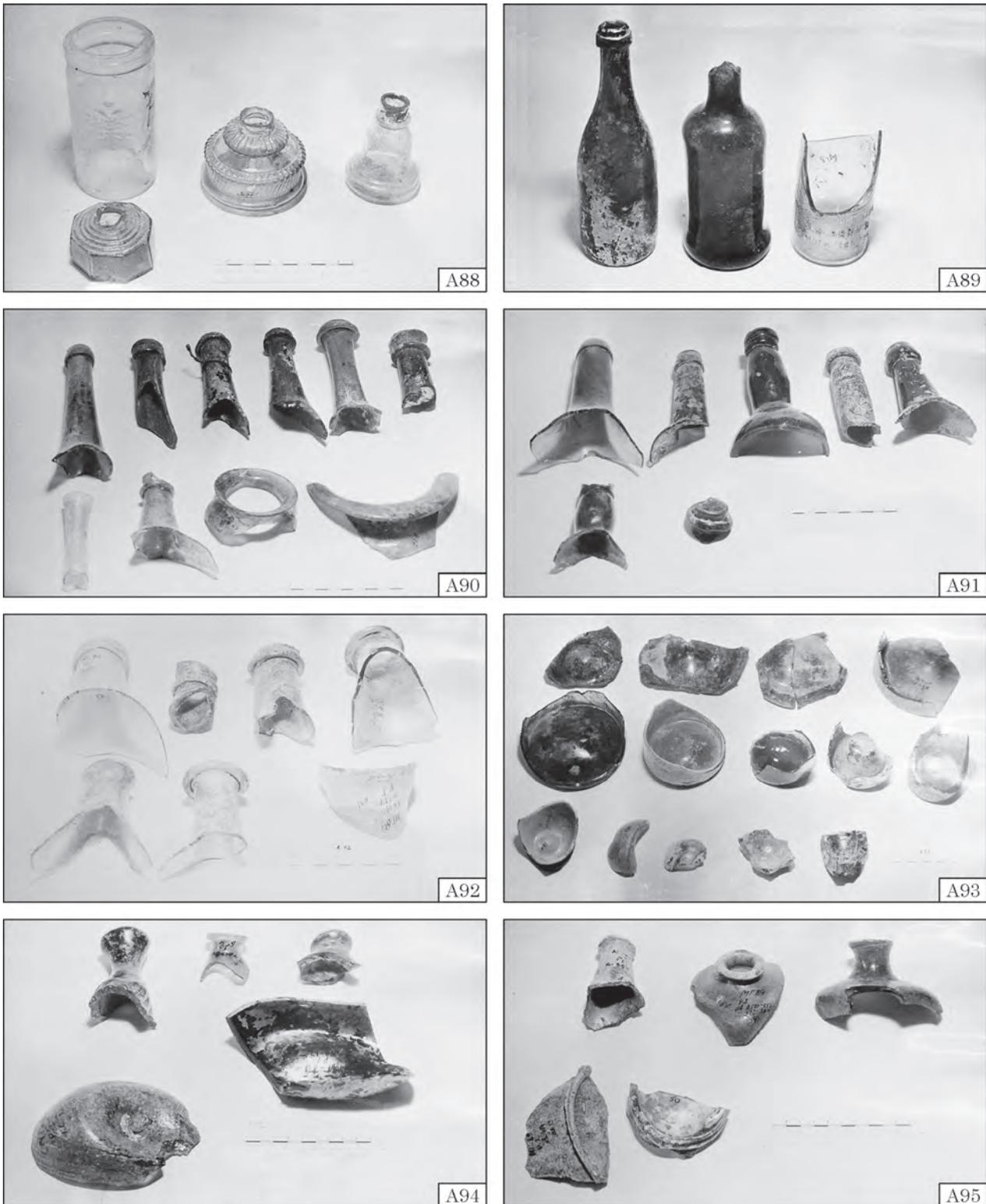
Спектры получены на кварцевом спектрографе средней дисперсии ИСП-28 с генератором ИВС-28, при токе 13 А, дуговом промежутке 2 мм, экспозиции 45 сек., ширине щели 15 мк. Система освещения щели трехлинзовая, угольный электрод с каналом  $3 \times 4$  мм, фотопластинки репродуктивные штриховые сверхконтрастные, чувствительность 5,5 ед. ГОСТ.

В результате изучения количественного состава стеклянных изделий археологического происхождения из польского Сандомежа исследователи выяснили, что почти все исследованное стекло Нового времени в количестве 92 проб относится к калиево-кальциево-силикатному (Tabaczyńska 1993, s. 168; Rubnikowicz 1996, s. 456). Подобные результаты получены польскими и бельгийскими исследователями точным методом количественной масспектрометрии с индуктивно связанной плазмой с отбором конденсированной фазы способом лазерной абляции по 202 пробам стекла Нового времени археологического контекста из Старого города в Эльблэнге, Старого города в Познани, Старого города во Вроцлаве: было обнаружено калиево-кальциево-силикатное (существенно преобладает), натриево-кальциево-силикатное и свинцово-кварцевое стекло (Kasztovszky, Kunicki-Goldfinger 2008; Wagner et al. 2008, p. 419, fig. 3). Центральноевропейское бесцветное стекло XVIII в. выделяется высоким соотношением К/Са и низким содержанием Р1 в отличие от английского столового стекла, которое с 1635 г. становится свинцовым (Kunicki-Goldfinger, Kierzek, Kasprzak 2000, p. 1; Filarska 1973, s. 43).

Более точно можно определить состав основы и микропримесей (свыше 1 %) при помощи количественного валового рентгенфлюоресцентного анализа этих же образцов. При проведении рекомендуемых опытов методы взаимно дополняют полученные знания о могилевском стекле — рентгеноспектральный анализ позволит судить о макропримесях, оптический спектральный — о микропримесях, что обогатит возможность исследования историко-технологических особенностей стекла.

Можно также рекомендовать пилотажные исследования методом рассеяния рентгеновских лучей (рентгеноструктурный анализ) со сравнением без расшивки кривых радиального распределения с целью группировки образцов стекла для поисков хронологических или категориальных отличий.

По итогам полуколичественного оптического спектрального анализа с определением элементов по индексам атласа спектральных линий выделяются по основным компонентам в



**Рис. 5.** Фотофіксація отобраних для напівколичественного оптичного спектрального аналізу скляних виробів з розкопок історичного центру г. Могилёва відповідно колекційної описи і графічним листам звіту, А88—95 (см. табл. 1)

колекції 1989 року з розкопу І в г. Могилёве чотири групи скла.

1. Натрієве (№ 18, 69, 70, 73, 75, 180). Все 6 виробів з натрієвого скла датуються ХІХ — на початку ХХ вв. Це циліндрична пляшка (№ 18), бокали (№ 69, 70, 75, 180), шклянниця (№ 73).

2. Натрієво-кальцієве (№ 1—4, 7). Все 5 виробів датуються початком ХХ в. В цій групі банка з написом «Жорж Борман» (№ 1), пляшка з написом «Пивоваренний завод Е. Ф. Яникъ Могилёвъ губ.» (№ 7), резервуари керосинових ламп (№ 2—4), виріб № 3 ви-

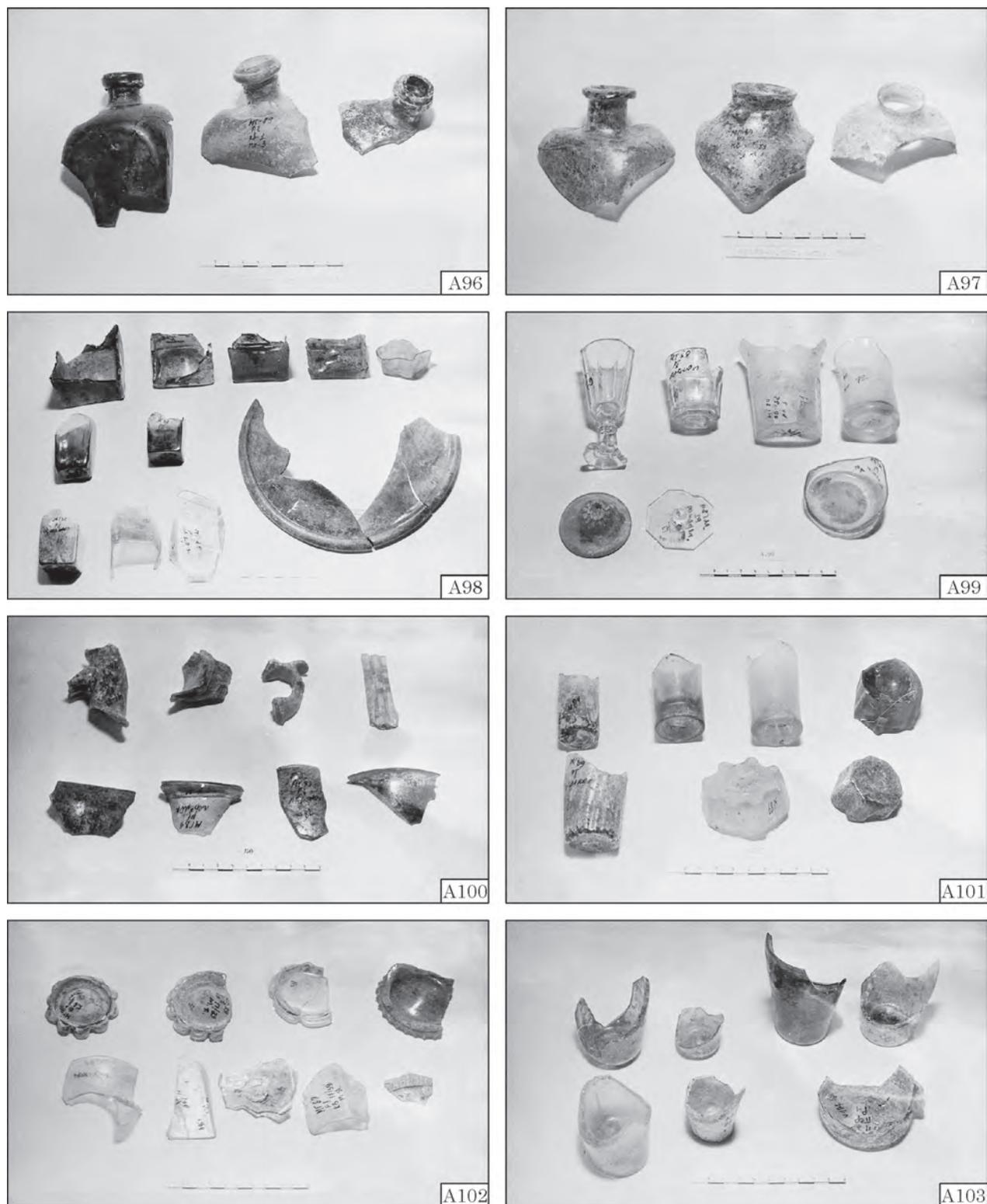


Рис. 6. Фотофиксация отобранных для полуколичественного оптического спектрального анализа стеклянных изделий из раскопок исторического центра г. Могилёва соответственно коллекционной описи и графическим листам отчета, А96—103 (см. табл. 1)

деляется наличием цинка (0,01—0,1 %), отсутствием сурьмы и бария.

3. Калиевое со значительным содержанием кальция (№ 71). Единственное изделие представлено шклянницей конца XIX — начала XX вв.

4. Кальциевое — все остальные (168 изделий). В этой группе отмечена дифференциация по марганцу, в большей части изделий его содержание составляет 0,001—0,1 %, но есть ряд вещей с содержанием марганца в 0,1—1,0 %, это объекты 8, 13, 15, 19, 20, 24 (!), 25, 27, 29, 35, 38, 40—

47, 56, 58—61, 78, 90, 90б, 99, 106, 108, 109, 113, 117—118, 123, 128, 131, 133, 134, 135 (1), 143, 144, 146—148, 150, 153, 156—158, 160, 174, 177—179.

Среди изделий с большим содержанием марганца преобладают шкляницы (возможно, в группу шкляниц входят и масляные светильники) 28 образцов из 53, но шкляницы среди анализируемых образцов представлены почти половиной объектов, поэтому разница по содержанию марганца не является показательной для этой категории вещей.

Выделяются также изделия с микропримесями олова (от 0,0001 до 0,01 %), преобладают концентрации в 0,001 %. Это образцы 49, 53, 58—60, 68, 76—90, 110, 150—151, 173, 178 (25 изделий). Наличие микропримесей не связано с категорией вещей, кажется, что это особенность использованной в пихте сырья. Может быть, следует выделить группу вещей 76—90 (15 изделий), в которую входят ручки, ножки, донца чашек, бокалов, кувшинов, рифленая шкляница, шкляницы на волнистым поддоне XVII—XVIII вв., формованные шкляницы XVIII—XIX вв. Они имеют содержание олова в 0,001 %.

Имеются различия и по содержанию мышьяка. В большей части образцов его содержание находится за пределами чувствительности метода; мышьяк фиксируется в образцах 1, 71, 72, 89, 173, 180. Большей частью это изделия XIX — начала XX вв.

Делать выводы о наличии или отсутствии других элементов опасно, их концентрация находится на грани чувствительности метода.

В ряде случаев (анализы 46а, 46б, 50а, 50б, 68а, 68б, 68в, 96а, 96б — буквой обозначена дополнительная к основной проба другого фрагмента изделия) данные спектрального анализа позволили обосновать возможность графической реконструкции изделий.

Подытоживая, можно сказать, что большая часть анализируемых изделий сделана из калиево-кальциево-силикатного стекла, приблизительно в 1/3 части изделий встречаются примеси марганца, который делает стекло бесцветным. Вещи из зольного стекла датируются концом XVI — началом XVII в. Поташное калиевое стекло в анализируемой коллекции почти не встречается, в отличие от коллекции, которая собрана во время раскопок 1989 г. у костела Св. Станислава в г. Могилёве, где оно составляет 1/4 часть всех изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеева, Л. Ю. 2009. Особенности Алтайского стеклоделия во второй половине XVIII — первой половине XIX веков. *Мир науки, культуры, образования*, 2, с. 87-89.
- Ашпен, А. А. 1974. *Химия стекла*. Ленинград: Химия.
- Безбородов, М. А. 1968. *Синтез и строение силикатных стёкол: основы стекловедения*. Минск: Наука и техника.
- Варгин, В. В. (ред.). 1962. *Эмалирование металлических изделий*. Москва; Ленинград: Машиностроительная литература.

ГОСТ 22551-77 *Песок кварцевый, молотые песчанник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. Технические условия*. 1977. Москва: Издательство стандартов.

Даувальтер, А. Н. 1936. *Обесцвечивание стекла*. Ленинград: Гизлегпром.

Кешишян, Т. Н. 1965. *Стекло*. В: Кнунянц, И. Л. (ред.). *Краткая химическая энциклопедия*. Москва: Большая Российская энциклопедия, 4, стб. 1027-1034.

Китайгородский, И. И., Сильвестрович, С. И. (ред.). 1963. *Справочник по производству стекла*. Москва: Госстройиздат, 2.

Китайгородский, И. 1928. *Бутылочное производство*. В: Мартенс, Л. К. (ред.). *Техническая энциклопедия*. Москва: Советская энциклопедия, 3: Бумажный брак — Водорода перекись, стб. 110-116.

Китайгородский, И. 1933. *Стекло: производство стекла*. В: Мартенс, Л. К. (ред.). *Техническая энциклопедия*. Москва: Советская энциклопедия, 22: Стеариновое производство — Теплопередача, стб. 24-36.

Кукуй, Д. М., Андрианов, Н. В. 2005. *Теория и технология литейного производства. Формовочные материалы и смеси*. Минск: Белорусский национальный технический университет.

Кукушкин, Ю. Н. 1992. *Химия вокруг нас: Справочное пособие*. Москва: Высшая школа.

Кульман, А. Г. 1968. *Общая химия*. Москва: Колос.

Кульский, Л. А., Гороновский, И. Г., Когановский, А. М., Шевченко, М. А. 1980. *Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды*. Киев: Наукова думка, 1.

Кутюлин, С. А., Нейч, А. И. 1988. *Физическая химия цветного стекла*. Москва: Стройиздат.

Макеева, А. Н., Морозова, С. С., Ющенко, Г. И., Устинова, Е. В. 2009. К вопросу взаимодействия стекла бутылок с водками. *Ликероводочное производство и виноделие*, 5, с. 20-21.

Матвеев, М. А., Матвеев, Г. М., Френкель, Б. Н. 1972. *Расчеты по химии и технологии стекла: Справочное пособие*. Москва: Литература по строительству.

Мелконян, Р. Г. 2002. *Аморфные горные породы — новое сырье для стекловарения и строительных материалов*. Москва: Природа.

Менделеев, Д. И. 1952. *Стеклозное производство*. В: *Сочинения в 25 томах*. Москва: АН СССР, XVII: Технология, с. 47-402.

Микоша, Ю. С. 1991. *Стекольное сырьё*. В: Козловский, Е. А. (ред.). *Горная энциклопедия*. Москва: Советская энциклопедия, 5: СССР — Яшма, с. 69.

Никольский, Б. П. (ред.). 1968. *Справочник химика*. Москва; Ленинград: Химия, 5: Сырье и продукты промышленности неорганических веществ. Процессы и аппараты. Коррозия. Гальванотехника. Химические источники тока.

Отоцкий, П. 1901. *Суглинистая почва*. В: *Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона*. Санкт-Петербург: Издательское дело, Брокгауз-Ефрон, XXXIA (62): Статика — Судостроительство, с. 900.

Павлушкин, Н. М., Сентюрин, Г. Г., Ходаковская, Р. Я. 1970. *Практикум по технологии стекла и сталлов*. Москва: Литература по строительству.

Павлушкин, Н. М., Воронов, Н. В. 1976. *Стекло*. В: *Большая советская энциклопедия*. Москва: Советская энциклопедия, 24, кн. 1. с. 470-473.

Петухов, С. И., Д (Менделеев, Д. И.). 1901. *Стеклозное производство*. В: *Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона*. Санкт-Петербург: Издательское дело, Брокгауз-Ефрон, XXXIA (62): Статика — Судостроительство, с. 565-586.

Поенов, Б. 1893. *Гнейс*. В: *Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона*. Санкт-Петербург: И. А. Ефрон, VIIIA (16): Германия — Го, с. 938-939.

Полляк, В. В., Саркисов, П. Д., Солинов, В. Ф., Царицын, М. А. 1983. *Технология строительного и технического стекла и шлакоситаллов*. Москва: Стройиздат.

Савченко, В. И. 1961. *Технология эмалирования и оборудование эмалировочных цехов*. Харьков: Металлургиздат.

Саркисов, П. Д., Орлова, Л. А. 1995. Стекло неорганическое. В: Зефирова, Н. С. (ред.). *Химическая энциклопедия*. Москва: Большая Российская энциклопедия, 4: Пол — Три, с.422-424.

Синчук, І. І. 1990а. *Справознавча аб археологічних дослідженнях у гістаричній частині г. Магілєва ў чэрвені—ліпені 1989 г.* Архіў БРПІ, аб'ект 6-89, інв. № 6, кн. 1.

Синчук, І. І. 1990б. *Справознавча аб археологічних дослідженнях у гістаричній частині г. Магілєва ў чэрвені—ліпені 1989 г.* Архіў БРПІ, аб'ект 6—89, інв. № 7, кн. 2.

Синчук, І. І. 1990с. *Справознавча аб археологічних дослідженнях у гістаричній частині г. Магілєва ў чэрвені—ліпені 1989 г.* Архіў БРПІ, аб'ект 6—89, інв. № 8, кн. 3.

Синчук, И. И. 2009. Оконное стекло XVIII в. по материалам раскопок исторического центра г. Могилева (Беларусь). В: Гайдуков, П. Г. (ред.). *Археология и история Пскова и Псковской земли: Семинар имени академика В. В. Седова. Материалы 54 заседания (15—17 апреля 2008 г.)*. Псков: ИА РАН, с. 445-459.

Синчук, И. И. 2013. Бытовые стеклянные изделия Дворищенского раскопа (Великий Новгород, 2007—2008 гг.). *Вестник Брестского государственного технического университета*, 6 (84): Гуманитарные науки, с. 62-72.

Синчук, І. І., Філонаў, Б. А. 2006. Археалагічнае шкло з раскопак 1989 г. каля касцэла Станіслава ў г. Магілєва. *Вестник Брестского государственного технического университета*, 6 (42): Гуманитарные науки, с. 51-58.

Тыкачинский, И. Д. 1977. *Проектирование и синтез стекол и ситаллов с заданными свойствами*. Москва: Стройиздат.

Тысовская, Л. Д., Бондаренко, А. В., Ланевская, Л. А., Хотимченко, В. С. 1974. О повышении чувствительности спектрального определения примесей в кварцевом стекле. В: Кондратьев, Ю. Н. (ред.). *Физико-химические исследования структуры и свойств кварцевого стекла*. Москва, с. 172-178. Государственный НИИ стекла, 1.

Шарвин, В. В. 1919. *Введение в химию*. Москва: О. П. Герасимов и И. И. Трояновский.

Шелби, Дж. 2006. *Структура, свойства и технология стекла*. Москва: Мир.

Шульц, М. М., Мазурин, О. В. 1988. *Современные представления о строении стёкол и их свойствах*. Ленинград: Наука.

Agricola, G. 1912. *De re metallica*. London: The Mining Magazine.

Dillon, E. 1907. *Glass*. London: Mcthuen and Co., New York: G. P. Putnam's Sons.

Filarska, B. 1973. *Szkoło pięknie i użyteczne*. Warszawa: Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych.

Kasztovszky, Z., Kunicki-Goldfinger, J. 2011. Applicability of Prompt Gamma Activation Analysis to Glass Archaeometry. In: Turbanti-Memmi, I. (ed.). *Proceedings of the 37<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry, 13<sup>th</sup>—16<sup>th</sup> May 2008, Siena, Italy*. Heidelberg; Dordrecht; London; New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 83-90. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14678-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14678-7_12).

Kunicki-Goldfinger, J., Kierzek, J., Kasprzak, A. 2000. Some features of the 18th century glass technology used in Central Europe (Saxony, Brandenburg, Poland).

In: Schulze, G., Horn, I. (eds.). *Archäometrie und Denkmalpflege. Kurzberichte 2000. Zusammenfassungen der Vorträge und Poster der Jahrestagung 2000 im Kanonenhof in Dresden 29. bis 31. März 2000*. Berlin: Mensch & Buch, S. 107-109.

Rubnikowicz, M. 1996. Znaleziska szklane ze stanowiska Zamek w Sandomierzu. In: Tabaczyński, S. (ed.). *Sandomierz: Badania 1969—1973*. Warszawa: IAI PAN, 2, s. 423-453. Polskie badania archeologiczne, 32.

Tabaczyńska, E. 1993. Średniowieczne i nowożytnie szkło ze stanowiska Colegium Costomianum. In: Tabaczyński, S. (ed.). *Sandomierz: Badania 1969—1973*. Warszawa: IAI PAN, 1, s. 156-169. Polskie badania archeologiczne, 31.

Wagner, B., Nowak, A., Bulska, E., Kunicki-Goldfinger, J., Schalm, O., Janssens, K. 2008. Complementary analysis of historical glass by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Microchimica Acta*, V, 162, iss. 3—4, p. 415-424.

## REFERENCES

Alekseeva, L. Iu. 2009. Osobennosti Altaiskogo steklodeliia vo vtoroi polovine XVIII — pervoi polovine XIX vekov. *Mir nauki, kultury, obrazovaniia*, 2, s. 87-89.

Appen, A. A. 1974. *Khimiia stekla*. Leningrad: Khimiia.

Bezborodov, M. A. 1968. *Sintez i stroenie silikatnykh stekol: osnovy steklovedeniia*. Minsk: Nauka i tekhnika.

Vargin, V. V. (ed.). 1962. *Emalirovanie metallicheskikh izdelii*. Moskva, Leningrad: Mashinostroitel'naja literatura.

GOST 22551-77 *Pesok kvartsevyi, molotye peschanik, kvartsit i zhilnyi kvarts dlia stekolnoi promyshlennosti. Tekhnicheskie usloviia*. 1977. Moskva: Izdatel'stvo standartov.

Dauvalter, A. N. 1936. *Obestvshechivanie stekla*. Leningrad: Gizlegprom.

Keshishian, T. N. 1965. Steklo. In: Knunians, I. L. (ed.). *Kratkaia khimicheskaiia entsiklopediia*. Moskva: Bolshaiia Rossiiskaia entsiklopediia, 4, stb. 1027-1034.

Kitaigorodskii, I. I., Silvestrovich, S. I. (ed.). 1963. *Spravochnik po proizvodstvu stekla*. Moskva: Gosstroizdat, 2.

Kitaigorodskii, I. 1928. Butylochnoe proizvodstvo. In: Martens, L. K. (ed.). *Tekhnicheskaiia entsiklopediia*. Moskva: Sovetskaia entsiklopediia, 3: Bumazhnyi brak — Vodoroda perekis, stb. 110-116.

Kitaigorodskii, I. 1933. Steklo: Proizvodstvo stekla. In: Martens, L. K. (ed.). *Tekhnicheskaiia entsiklopediia*. Moskva: Sovetskaia entsiklopediia, 22: Stearinovoe proizvodstvo — Teploperedacha, stb. 24-36.

Kukui, D. M., Andrianov, N. V. 2005. *Teoriia i tekhnologiia liteinogo proizvodstva. Formovochnye materialy i smesi*. Minsk: Belorusskii natsionalnyi tekhnicheskii universitet.

Kukushkin, Iu. N. 1992. *Khimiia vokrug nas: Spravochnoe posobie*. Moskva: Vysshiaia shkola.

Kulman, A. G. 1968. *Obshchaia khimiia*. Moskva: Kolos.

Kulskii, L. A., Goronovskii, I. G., Koganovskii, A. M., Shevchenko, M. A. 1980. *Spravochnik po svoistvam, metodam analiza i oshistki vody*. Kiev: Naukova dumka, 1.

Kutolin, S. A., Neich, A. I. 1988. *Fizicheskaiia khimiia tsvetnogo stekla*. Moskva: Stroizdat.

Makeeva, A. N., Morozova, S. S., Iushchenko, G. I., Ustinova, E. V. 2009. K voprosu vzaimodeistviia stekla butylok s vodkami. *Likervodochnoe proizvodstvo i vinodelie*, 5, s. 20-21.

Matveev, M. A., Matveev, G. M., Frenkel, B. N. 1972. *Raschetny po khimii i tekhnologii stekla: Spravochnoe posobie*. Moskva: Literatura po stroitelstvu.

Melkonian, R. G. 2002. *Amorfnye gornye porodny — novoe syre dlia steklovareniia i stroitelnykh materialov*. Moskva: Priroda.

Mendeleeev, D. I. 1952. Stekliannoie proizvodstvo. In: *Sochineniia v 25 tomakh*. Moskva: AN SSSR, XVII: Tekhnologiia, s. 47-402.

Mikoshia, Iu. S. 1991. Stekolnoie syrje. In: Kozlovskii, E. A. (ed.). *Gornaia entsiklopediia*. Moskva: Sovetskaia entsiklopediia, 5: SSSR — Iashma, s. 69.

Nikolskii, B. P. (ed.). 1968. *Spravochnik khimika*. Moskva; Leningrad: Khimiia, 5: Syre i produkty promyshlennosti neorganicheskikh veshchestv. Protssy i apparaty. Korroziia. Galvanotekhnika. Khimicheskie istochniki toka.

Ototskii, P. 1901. Suglinistaia pochva. In: *Entsiklopedicheskii slovar Brokgauza i Efrona*. Sankt-Peterburg: Izdatelskoe delo, Brokgauz-Efron, XXXIA (62): Statika — Sudoustroistvo, s. 900.

Pavlushkin, H. M., Sentiurin, G. G., Khodakovskaia, P. Ia. 1970. *Praktikum po tekhnologii stekla i sitallov*. Moskva: Literatura po stroitelstvu.

Pavlushkin, N. M., Voronov, N. V. 1976. Steklo. In: *Bolshaia sovetskaia entsiklopediia*. Moskva: Sovetskaia entsiklopediia, 24, kn. 1, s. 470-473.

Petukhov, S. I., D (Mendeleev, D. I.). 1901. Stekliaoe proizvodstvo. In: *Entsiklopedicheskii slovar Brokgauza i Efrona*. Sankt-Peterburg: Izdatelskoe delo, Brokgauz-Efron, XXXIA (62): Statika — Sudoustroistvo, s. 565-586.

Poenov, B. 1893. Gneis. In: *Entsiklopedicheskii slovar Brokgauza i Efrona*. Sankt-Peterburg: I. A. Efron, VIIIA (16): Germaniia — Go, s. 938-939.

Polliak, V. V., Sarkisov, P. D., Solinov, V. F., Tsaritsyn, M. A. 1983. *Tekhnologiia stroitel'nogo i tekhnicheskogo stekla i shlakositallov*. Moskva: Stroiizdat.

Savchenko, V. I. 1961. *Tekhnologiia emalirovaniia i oborudovanie emalirovochnykh tsekhov*. Kharkov: Metallurgizdat.

Sarkisov, P. D., Orlova, L. A. 1995. Steklo neorganicheskoe. In: Zefirov, N. S. (ed.). *Khimicheskaia entsiklopediia*. Moskva: Bolshaia Rossiiskaia entsiklopediia, 4: Pol — Tri, s. 422-424.

Sinchuk, I. I., 1990a. *Spravzdaca ab archiealahichnykh dasledavanniach u historycnaj castcy h. Mahilova ū cervieni—lipieni 1989 h.* Archiū BRPI, abjekt 6—89, inv. N 6, kn. 1.

Sinchuk, I. I., 1990b. *Spravzdaca ab archiealahichnykh dasledavanniach u historycnaj castcy h. Mahilova ū cervieni—lipieni 1989 h.* Archiū BRPI, abjekt 6—89, inv. N 7, kn. 2.

Sinchuk, I. I., 1990c. *Spravzdaca ab archiealahichnykh dasledavanniach u historycnaj castcy h. Mahilova ū cervieni—lipieni 1989 h.* Archiū BRPI, abjekt 6—89, inv. N 8, kn. 3.

Sinchuk, I. I. 2009. Okonnoe steklo XVIII v. po materialam raskopok istoricheskogo tsentra g. Mogileva (Belarus). In: Gaidukov, P. G. (ed.). *Arkheologiia i istoriia Pskova i Pskovskoi zemli: Seminar imeni akademika V. V. Sedova. Materialy 54 zasedaniia* (15—17 apreliia 2008 goda). Pskov: IA RAN, s. 445-459.

Sinchuk, I. I. 2013. Bytovyie steklianye izdeliia Dvorishchenskogo raskopa (Velikii Novgorod, 2007—2008 gg.). *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 6 (84): Gumanitarnye nauki, s. 62-72.

Sinchuk, I. I., Filonav, B. A. 2006. Archiealahicnaje sklo z raskopak 1989 h. kala kasciela Stanislava ū h. Mahilovie. *Viestnik Brjestsckoho hosudarstviennoho tjechničeskoho universitjeta*, 6 (42): Humanitarnye nauki, s. 51-58.

Tykachinski, I. D. 1977. *Proektirovanie i sintez stekol i sitallov s zadannymi svoistvami*. Moskva: Stroiizdat.

Tysovskaja, L. D., Bondarenko, A. V., Lanevskaja, L. A., Khotimchenko, V. S. 1974. O povyshenii chuvstvitel'nosti spektral'nogo opredelenia primesei v kvartsevom stekle. In: Kondratev, Iu. N. (ed.). *Fiziko-khimicheskie issledovaniia struktury i svoistv kvartsevogo stekla*. Moskva, s. 172-178. (Gosudarstvennyj NII stekla, 1.

Sharvin, V. V. 1919. *Vvedenie v khimiiu*. Moskva: O. P. Gerasimov i I. I. Troianovskij.

Shelbi, Dzh. 2006. *Struktura, svoistva i tekhnologiia stekla*. Moskva: Mir.

Shults, M. M., Mazurin, O. V. 1988. *Sovremennye predstavleniia o stroenii stekol i ikh svoistvakh*. Leningrad: Nauka.

Agricola, G. 1912. *De re metallica*. London: The Mining Magazine.

Dillon, E. 1907. *Glass*. London: Methuen and Co., New York: G. P. Putnam's Sons.

Filarska, B. 1973. *Szkoło pieknie i użyteczne*. Warszawa: Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych.

Kasztovszky, Z., Kunicki-Goldfinger, J. 2011. Applicability of Prompt Gamma Activation Analysis to Glass Archaeometry. In: Turbanti-Memmi, I. (ed.). *Proceedings of the 37<sup>th</sup> International Symposium on Archaeometry, 13<sup>th</sup>—16<sup>th</sup> May 2008, Siena, Italy*. Heidelberg; Dordrecht; London; New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 83-90. [https://DOI 10.1007/978-3-642-14678-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14678-7_12).

Kunicki-Goldfinger, J., Kierzek, J., Kasprzak, A. 2000. Some features of the 18th century glass technology used in Central Europe (Saxony, Brandenburg, Poland). In: Schulze, G., Horn, I. (eds.). *Archäometrie und Denkmalpflege. Kurzberichte 2000. Zusammenfassungen der Vorträge und Poster der Jahrestagung 2000 im Kanonenhof in Dresden 29. bis 31. März 2000*. Berlin: Mensch & Buch, S. 107-109.

Rubnikowicz, M. 1996. Znaleziska szklane ze stanowiska Zamek w Sandomierzu. In: Tabaczyński, S. (ed.). *Sandomierz: Badania 1969—1973*. Warszawa: IAIE PAN, 2, s. 423-453. Polskie badania archeologiczne, 32.

Tabaczyńska, E. 1993. Średniowieczne i nowożytnie szkło ze stanowiska Colegium Costomianum. In: Tabaczyński, S. (ed.). *Sandomierz: Badania 1969—1973*. Warszawa: IAIE PAN, 1, s. 156-169. Polskie badania archeologiczne, 31.

Wagner, B., Nowak, A., Bulska, E., Kunicki-Goldfinger, J., Schalm, O., Janssens, K. 2008. Complementary analysis of historical glass by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy and laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Microchimica Acta*, V, 162, iss. 3—4, p. 415-424.

I. I. Sinchuk

## THE RESULTS OF A STUDY OF ARCHAEOLOGICAL GLASS FROM THE EXCAVATION 1989 IN THE HISTORICAL CENTER OF MOGILEV (optical spectral analysis)

180 fragments of glassware from the historical part of Mogilev at the end of the 16th and early 20th centuries were studied.

Technological excursus is devoted to raw materials for glass production and introduces glassmaking literature of the 18<sup>th</sup> — early 20th centuries.

The method of semiquantitative optical spectral analysis based on the atlas of spectral lines is used. For the transfer of results, the conventional general technical method is used.

A few examples of ash glass date back to the late of the 16<sup>th</sup> — early 17<sup>th</sup> century. Most of the samples analyzed from the 17th to the 19th centuries are made of potassium-calcium silicate glass; about 1/3 part of the products, there are manganese impurities, which makes the glass colorless.

The result of the work is a catalog of analyzes of an archaeological glass from the Belarusian city of Mogilev, which presented in the appendix.

**Keywords:** Belorussian Dnieper region, 17<sup>th</sup>—19<sup>th</sup> centuries, urban material culture, glassmaking, charge, archeological glass, optical spectral analysis.

Одержано 23.05.2018

**СІНЧУК Іван Іванович**, провідний науковий співробітник, Національний художній музей Республіки Білорусь, вул. Леніна, 20, Мінськ, 220030, Білорусь, [sintchouk@tut.by](mailto:sintchouk@tut.by).

**SINCHUK Ivan Ivanovich**, Leading Researcher, the National Art Museum of the Republic of Belarus, Lenin st., 20, Minsk, 220030, Republic of Belarus, [sintchouk@tut.by](mailto:sintchouk@tut.by).

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
**ВИЗУАЛЬНАЯ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ИНДЕКСАМ АТЛАСА**  
**СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ, %**

Элемент	Номер образца																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	>10	>10	>10	10	1	1	10	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	1	1	1	0,1-1	0,1-1
K	0,1-1	0,1-1	—	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	1	1	1	1	0,1-1	0,1-1
Ca	10	10	>10	10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	10	0,1-1
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1	1	1	0,1	1	1	1	1	1	1	0,1	1	0,1-1	0,1-1
Fe	10 <sup>2</sup>	0,1	0,1	1	1	1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	10 <sup>2</sup>	0,1-1	0,1-1	0,1
Cu	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	1-10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
Mn	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>2</sup> -0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	10 <sup>2</sup> -0,1	0,1-1	0,1	0,1
Pb	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	—	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -0,1
Sr	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>2</sup>	—	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>2</sup>
Ba	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	—	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -0,1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ti	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	1 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Ni	—	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
V	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
Mo	—	—	—	10 <sup>4</sup>	—	10 <sup>3</sup>	—	—	10 <sup>4</sup>	—	—	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	10 <sup>2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	10 <sup>2</sup> -0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	10 <sup>-5</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>2</sup>

Елемент	Номер образця																	Елемент
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	
Na	0,1-1	1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	
K	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	1	1	1	
Ca	1	10	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	10	10	0,1-1	10	10	10	>10	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	
Mg	0,1	1	1	0,1-1	0,1-1	1	1	1	0,1-1	1	1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Fe	0,1	1	1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Cu	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	
Mn	10 <sup>2-0,1</sup>	1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Pb	0,1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2-0,1</sup>	10 <sup>2-0,1</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2-0,1</sup>	10 <sup>3</sup>	—	—	10 <sup>2</sup>	—	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	
Sr	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3-10<sup>2</sup></sup>	10 <sup>3-10<sup>2</sup></sup>	10 <sup>3-10<sup>2</sup></sup>	10 <sup>3-10<sup>2</sup></sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	
Ba	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	
Al	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Ti	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Cr	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	
Ni	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	
V	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	
Mo	—	—	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3-10<sup>4</sup></sup>	10 <sup>4</sup>	—	—	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Ag	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	—	—	—	10 <sup>5</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Zn	—	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	—	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>2</sup>	
Номер образця																		
Елемент	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46a	46b	47	48	49	50a	
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	
Na	0,1-1	1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ca	0,1-1	0,1-1	0,1-1	10	0,1-1	>10	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	10	0,1-1	10	0,1-1	0,1-1	10	
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-10	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Fe	0,1	0,1-1	0,1-1	1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	1	0,1	0,1-1	0,1-1	
Cu	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	
Mn	0,1-1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>2-0,1</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	
Pb	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	—	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3-0,1</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	
Sr	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2-0,1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	

Элемент	Номер образца																		
	50b	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66		
Ba	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>					
Al	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	>10	>10	>10	1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	
Ti	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	~0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Sn	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	—	
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Ni	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Mo	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Zn	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	
Na	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	~0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
K	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Ca	10	10	10	10	10	10	0,1-1	0,1-1	0,1-1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	
Fe	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1-1	10 <sup>-2</sup> -0,1						
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Mn	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	1	1	0,1-1	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	
Pb	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Sr	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	
Ba	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>					
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Ti	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	—	—	—	—	—	—	—	
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-3</sup>						
Ni	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Zn	—	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	

Елемент	Номер образця																	Елемент
	67	67a	68(1)	68(2)	68(3)	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	>10	>10	0,1	1	>10	0,1	>10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K	1	1	1	1	1	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1	10	1	0,1	1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ca	10	10	10	10	10	0,1	0,1-1	10	10	0,1-1	10	0,1-1	10	10	10	10	10	10
Mg	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Fe	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-3-0,1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,1	0,1	1	1	1	1
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>									
Mn	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1
Pb	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>					
Sr	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	—	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Ba	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ti	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>				
Sn	—	—	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	—	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>									
Ni	10 <sup>-3</sup>	—	—	—	—	—	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-4</sup>									
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>					
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	—	—	—

Елемент	Номер образця										96b							
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90								
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ca	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Fe	0,1-1	0,1-1	0,1-1	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2</sup>	1	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1	0,1
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>					
Mn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup>	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup>	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Pb	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
Sr	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>

Элемент	Номер образца																
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	112	113	114
Ba	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1	0,1	10 <sup>-3</sup>	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1	0,1—1	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1—1	0,1—1
Ti	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sn	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Ni	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Bi	—	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup> —0,1	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1	0,1—1
Ca	>10	>10	>10	10	10	10	10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Mg	0,1	0,1—1	0,1—1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1—1	1	0,1—1	1	0,1—1	0,1	0,1	0,1	0,1—1	0,1—1
Fe	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1	0,1	0,1—1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1—1	0,1
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mn	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1	0,1—1	0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1	1	0,1	1	0,1—1	0,1	0,1	0,1	0,1—1	0,1
Pb	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sr	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>				
Ba	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> —10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Al	0,1	0,1—1	0,1—1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> —0,1	0,1	0,1—1	1	0,1	0,1—1	0,1—1	0,1	0,1	0,1	0,1—1	0,1
Ti	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Ni	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	10 <sup>-5</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Елемент	Номер образця																
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	1
K	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ca	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Mg	0,1	0,1	0,1-1	1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Fe	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mn	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1-1	1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,1-1	0,1-1
Pb	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sr	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Ba	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>
Al	0,1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1-1	1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ti	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>				
Ni	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-5</sup>
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	—

Елемент	Номер образця																
	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ca	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Mg	0,1	0,1-1	0,1-1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	1	1	0,1	1	0,1-1	0,1-1
Fe	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1-1	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,1	10 <sup>-2</sup>	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mn	0,1	0,1-1	1	0,1-1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1	0,1-1	1	1	0,1	1	0,1-1	0,1-1
Pb	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
Sr	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1-1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>

Элемент	Номер образца																
	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165
Ba	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	0,1-1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>
Al	0,1	0,1-1	0,1-1	1	0,1	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ti	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Ni	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	0,1	—	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup>	—	10 <sup>-2</sup>
Элемент																	
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Na	0,1	1	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1
K	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ca	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Fe	10 <sup>2</sup>	1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>2</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cu	10 <sup>3</sup>	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>
Mn	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1-1	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1	0,1-1	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1
Pb	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
Sr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
Ba	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
Al	10 <sup>-2-0,1</sup>	1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	10 <sup>-2-0,1</sup>	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	1	0,1-1
Ti	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3-10<sup>-2</sup></sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Sn	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Ni	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	10 <sup>-2</sup>	—	—	—	—	—	10 <sup>-5</sup>	—	—	—	—	—	10 <sup>-5</sup>	—	—	—

Елемент	Номер образця																
	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180		
Si	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	
Na	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1	>10	
K	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1	0,1-1
Ca	>10	>10	>10	>10	>10	>10	>10	0,1-1	>10	>10	<10	<10	<10	<10	1	1	1
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	1	0,1	0,1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
Fe	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup>	0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	10 <sup>-2</sup> -0,1	1	1	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>						
Cu	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10	10						
Mn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1-1	0,1	0,1	0,1-1	1	0,1-1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Pb	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	0,1	0,1	0,1
Sr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	—	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	—	—	—					
Ba	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	—	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-2</sup>	—	—	—					
Al	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	10 <sup>2</sup>	0,1-1	0,1-1	0,1	0,1-1	0,1-1	0,1	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>
Ti	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>				
Sn	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	—	—	—	10 <sup>-4</sup>	—	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>
Cr	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>				
Ni	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>				
V	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>						
Mo	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	—	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>				
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
As	—	—	—	—	—	—	—	10 <sup>-2</sup> -0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—