

# ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

---

DOI: 10.36535/0869-1010-2021-03-1

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*к.г.-м.н. Е.П. Янин*

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва  
yanin@geokhi.ru

Рассматриваются особенности влияния предприятий полупроводниковой промышленности на окружающую среду. Показано, что предприятия данной отрасли характеризуются наличием производственных процессов, в которых используются различные материалы, химические элементы и их соединения, которые способны поступать в атмосферный воздух, в сточные воды и твердые отходы. С гигиенической и экологической точек зрения, особое значение имеют разнообразные органические соединения (в том числе летучие), неорганические кислоты, тяжелые металлы, селен, сурьма, фтор и фосфор. Особенно высокими концентрациями тяжелых металлов отличаются разновидности промышленной пыли, образующиеся на предприятиях в ходе технологических процессов, а также промышленные шламы, накапливающиеся на локальных заводских очистных сооружениях. Пыль и шламы характеризуются своеобразным общим химическим составом и присутствием значимых удельных и относительных содержаний подвижных форм нахождения многих металлов. Поступающие с организованными и неорганизованными выбросами в атмосферу химические элементы накапливаются в пределах и вблизи промышленных зон в почвах и городской растительности.

Полупроводниковая промышленность выпускает разнообразные приборы и устройства (тиристоры, фототиристоры, фоторезисторы и другие оптоэлектронные приборы, датчики, силовые вентили, преобразователи, выпрямители, регуляторы тока, терморезисторы, микросхемы, диоды, транзисторы, СВЧ-приборы и др.) и характеризуется разнообразием технологических процессов, применяемых материалов и используемых химических соединений. Технология производства различных полупроводниковых приборов и другой электронной аппаратуры включает механические, химические, термические процессы, процессы фотолитографии и диффузии. Как правило, в составе заводов присутствуют цеха гальваники, окрасочное производство, широко применяются процессы пайки, травления, обезжи-

ривания, фосфорной диффузии. В процессе производства используются различные потенциально опасные химические вещества [3, 14, 16, 18, 25, 30]. Например, в Руководстве [10] приводятся следующий примерный перечень этих веществ, который включает: азотную кислоту, аммиак, арсенид галлия, арсин, ацетон, водорода, гидроксид аммония, диборан, дисилан, дихлорсилан, закись азота, метан, озон, оксид азота, оксихлорид фосфора, серную кислоту, силан, тетрагидрид германия, тетрафторметан, трехфтористый бор, трехфтористый хлор, триметилиндий, триметилмышьяк, трихлорсилан, фосфид индия, фосфин, фосфорную кислоту, фтор, фторид азота, фтористоводородную кислоту, хлорин двуокиси углерода и хлористоводородную кислоту. По сведениям [29], заводы полупроводниковой техники используют в технологическом цикле следующие химические вещества и соединения: фотоактивные препараты, органические растворители, смолы, красители, бор, ксилол, гликолевые эфиры, силаны, галоидосиланы, неорганические кислоты (в том числе фтористую кислоту), гликолевые эфиры, фосфористый и мышьяковистый водород, газообразные соединения и др. В воздух рабочей зоны и в атмосферу могут поступать соединения сурьмы, свинца, никеля, хрома и мышьяка, тетрахлорид углерода, катехин, хлор, этилакрилат, этилбензол, этиленгликоль, хлористоводородная и фтористоводородная кислоты, метанол, метилизобутилкетон, хлорид метилена, перхлорэтилен, фосфин, фосфор, толуол, 1,1,1-трихлорэтан, ксилолы [10].

В производстве выпрямителей и фотоэлементов применяется селен (селеновые выпрямители и селеносодержащие фотоэлементы), что нередко приводит к негативным явлениям [5, 6, 13]. В частности, работники производства выпрямителей могут подвергаться воздействию дымов и пыли селена (элементарный селен и различные количества диоксида Se, единственного оксида Se, обнаруженного в промышленной среде) [13]. К числу соединений селена, контакт с которыми вероятен, относятся также селеновая пыль и селенистый водород. Например, в производстве селеносодержащих фотоэлементов путем вакуумного нанесения фоточувствительного слоя концентрации Se и его диоксида в воздухе рабочей зоны достигали 2 и 0,1 мг/м<sup>3</sup> (фон < 0,04 мг/м<sup>3</sup>) соответственно [12]. У рабочих, занимавшихся электрическими испытаниями выпрямительных плат, отмечались нарушения функции печени и высокая концентрация Se в крови [13]. Воздействие селена на население в связи с воздействием полупроводниковой промышленности изучено слабо. Есть сведения, что в селеновых выпрямителях для получения фотосопротивлений, фотоэлементов с большой чувствительностью, новых полупроводниковых стеклообразных материалов широко используется таллий и его соединения [19]. Присутствие таллия, особенно в воздухе рабочих помещений, в виде аэрозолей представляет прямую угрозу здоровью людей [9]. Достаточным опасными, особенно с позиций воздействия на рабочих, являются процессы фосфорной диффузии (используется особо чистый фосфор) в полупроводниковом производстве. При получении и легировании полупроводниковых материалов применяются также хромфосфаты, представляющие собой яды широкого спектра действия, из которых медьхромфосфат – с преимущественным поражением почек. Известны многочисленные примеры чрезвычайно негативного воздействия фосфора на организм профессиональных рабочих. Важнейшими полупроводниковыми материалами являются арсениды галлия и индия, а мышьяк высокой чистоты используется в полупроводниковом производстве в качестве легирующей добавки [4]. У профессиональных рабочих, занятых в сборке полупроводниковой аппаратуры, отмечались повышенные уровни мышьяка в волосах [31].

В производстве терморезисторов (полупроводниковых резисторов, электрические сопротивления которых значительно зависят от температуры) с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) используются оксиды железа, кобальта, никеля, марганца, хрома, титана, алюминия, цинка, магния, меди, лития и других металлов [7, 8, 18]. Экологические проблемы в технологии их изготовления связаны в первую очередь с использованием пылящих порошков оксидов и других соединений металлов, некоторые из них обладают, кроме того, заметной летучестью при используемых температурах синтеза (1100–1200°C) материалов для терморезисторов. Терморезисторы с положительным ТКС (позисторы) могут изготавливаться из монокристаллического кремния, легированного, например, алюминием, бором, галлием и фосфором, мышьяком, сурьмой, или из полукристаллического титаната бария, содержащего различные примеси редкоземельных и некоторых других элементов. При производстве позисторной керамики возникает необходимость очистки воздуха от пыли, бария и свинца, а также очистки сточных вод от свинца и бария. Для обеспечения полупроводниковых свойств в качестве легирующих добавок применяют лантан, ниобий, тантал, церий, висмут, сурьма, вольфрам, торий, иттрий. Для смещения температуры начала области положительного ТКС в сторону высоких температур добавляют свинец, замещающий барий в титанате бария. в технологии позисторной керамики могут использоваться составы с очень высоким содержанием токсичных соединений свинца. Целый ряд операций может сопровождаться высоким пылеобразованием. Основными источниками загрязнения воздуха являются процессы, связанные с приготовлением смесевых составов, перемешиванием, дроблением, а также синтезом реакционноспособных оксидов, термообработкой и спеканием. Образование сточных вод возможно на стадии фильтрации и организации гидророботки помещения. Воздух рабочей зоны, атмосферы и сточные воды могут загрязняться в первую очередь аэрозолями оксидов бария, титана (IV) и свинца (II). В свое время на заводах полупроводниковой промышленности производились разнообразные газоразрядные приборы с ртутным катодом (ртутные вентили, газотроны, тиратроны), инверторы, коммутаторы, что сопровождалось загрязнением производственной и окружающей среды ртутью [1].

Согласно Руководству [10], многие технологические процессы в ходе производства полупроводниковых приборов и другой электронной аппаратуры связаны с образованием опасных или потенциально опасных отходов, таких как отработанная деионизированная вода (содержащая неорганическую кислоту), отработанные растворители и проявители (например, парафиновые углеводороды), отработанные моющие растворы, шламы, образовавшиеся при очистке сточных вод, отработанные оксидные материалы (при производстве печатных плат и при производстве полупроводниковых приборов), отработанные растворы цианидов (гальванические покрытия), остатки флюса для пайки и остатки металлов (монтаж печатных плат). Особую опасность могут представлять выбросы, образующиеся в секторе производства полупроводниковых приборов и электронной аппаратуры, которые содержат парниковые газы, токсичные, химически активные и вызывающие коррозию вещества (например, пары кислот, легирующие примеси, чистящие газы и летучие органические соединения, которые образуются в ходе процессов диффузии, очистки и травления. В частности, Агентство по охране окружающей среды США выявило приблизительно 30 опасных загрязнителей воздуха при производстве полупроводниковых

приборов, однако, согласно оценкам, более 90% всех выбросов приходится на хлористый водород, фтористый водород, эфиры пропиленгликоля и их ацетаты, метанол и кислоты. Отводимые сточные воды содержат различные органические и неорганические соединения. Считается, что загрязнение почвы и грунтовых вод в результате воздействия полупроводниковой промышленности – широко распространенное явление [11]. Так, в Кремниевой долине в штате Калифорния имеется не менее 29 опасных (токсичных) объектов, подпадающих под действие известного Закона США о создании «Суперфонда» в рамках деятельности Агентства по охране окружающей среды. К наиболее типичным загрязняющим веществам здесь относятся хлорированные растворители и некоторые химические элементы (особенно хром, селен и мышьяк).

Наиболее водоемкими технологическими процессами на заводах полупроводниковой техники являются получение электронно-дырочных переходов и гальваническое покрытие деталей вентиляей, на которые расходуется до 46% общего потребления воды на технологические нужды [17]. Вода используется на промывку изделий, приготовление деионизированной (глубокообессоленной) воды и др. Стоки от получения электронно-дырочных переходов и чистовой сборки характеризуются высокими содержаниями взвешенных веществ (шлифпорошки, кремний), битума, пшеница, плавиковой кислоты, щелочей; в стоках гальванического цеха присутствуют значительные количества Zn (200 мкг/л после очистки), Cr (2300), Cd (20), Ni (900), Cu (200), Na (100–200), сульфаты, цианиды, неорганические кислоты. Шламы, образующиеся на локальных очистных сооружениях обогащены тяжелыми металлами, фосфором, Se, F, органическими соединениями. Стоки (до очистки) от получения электронно-дырочных переходов и чистовой сборки (при производстве силовых вентиляей и автомобильных вентиляей) характеризуются высокими содержаниями взвешенных веществ (шлифпорошки, кремний), Эфирорастворимых веществ (следы битума, пшеница, воска), азотной и плавиковой кислот, щелочей, цианидов. Очень интенсивно загрязнены стоки гальванических цехов (табл. 1, 2), которые содержат также различные кислоты (соляную, азотную, серную, борную) и едкий натр.

Таблица 1

**Состав сточных вод заводов силовых полупроводниковых изделий, производство вентиляей автомобильных (гальваническое покрытие деталей), мг/л [17]**

Показатель	До очистки	После очистки *
	Кислотно-щелочные стоки	
Натрий	10	0,2
Железо (III)	10	0,2
Медь (II)	9	0,2
Никель (II)	43	0,9
Кадмий (II)	1	0,02
	Цианистые стоки	
Натрий	43,4	900
CN <sup>-</sup>	15,9	300
Кадмий (II)	131,3	2600
	Хромсодержащие стоки	
Натрий	3	0,1
Хром (VI)	100	3

\* Нейтрализация и реакгентный метод.

Таблица 2

**Состав сточных вод заводов силовых полупроводниковых изделий,  
производство силовых полупроводниковых вентилях (гальваническое покрытие),  
мг/л [17]**

Показатель	До очистки	После очистки *
	Цианосодержащие стоки	
Цинк (II)	8	0,2
CN <sup>-</sup>	10	0,2
Сульфаты	10	0,2
	Хромсодержащие стоки	
Хром (VI)	115	2,3 (Cr-III)
Сульфаты	50	1
Хлориды	4	0,1
Натрий	1	0,02

\* Нейтрализация и реагентный метод.

Исследования влияния предприятий полупроводниковой промышленности на окружающую среду были в свое время выполнены в пределах г. Саранска и его окрестностей [2, 20–24, 26–28, 32]. Основное внимание уделялось поступлению и распределению в окружающей среде тяжелыми металлам и другим химическим элементам в районе следующих предприятий. Завод «Электровыпрямитель» (ЭВ) производил силовую полупроводниковую технику и аппаратное производство на ее базе, мощные тиристоры, полупроводниковые приборы, силовые преобразователи, электроприборы и электроизделия бытового назначения. В производственных процессах использовались пайка, обезжиривание, различные вещества (соединения Cd, Ni, Mg, Bi, K, Ca, Cu, Na, Ag, Zn, Al, Ba, Sn, Ti, органические растворители, смолы, красители, неорганические кислоты и др.). Наиболее вредными производствами являлись цех гальваники, окрасочное производство, травление в плавиковой кислоте, фосфорная диффузия. В сточных водах предприятия в повышенных концентрациях присутствовали Cu, Ni, Zn, Cr, Fe, F, нефтепродукты и др. Завод специальных силовых преобразователей (ЗСП) выпускал силовые и электрические вращающиеся преобразователи, бытовые приборы и изделия. В составе выбросов в атмосферу поступали ксилол, толуол, бензин, уайт-спирит, керосин, различные спирты, CO, NO и др. Опытный завод силовой электроники (ОЗСЭ) производил силовые преобразователи, регуляторы тока, трансформаторные подстанции, сварочное оборудование. В производственном процессе использовались прокат черных и цветных металлов, электротехническая сталь, лакокрасочные материалы, кабельная продукция. Завод полупроводниковых изделий (ЗПИ) специализировался на выпуске полупроводниковых приборов и интегральных схем. Наиболее вредным производством являлось гальваническое. В сточных водах завода присутствовали в высоких концентрациях тяжелые металлы, сульфаты, хлориды, фториды. Выбросы в атмосферу преимущественно газообразные (летучие органические соединения, оксид углерода, оксиды азота, пары масла и др.), в промышленной пыли обнаружены пыль абрикосовой косточки и карбид кремния. Завод точных приборов (ЗТП) производил полупроводниковые приборы и детали для них, интегральные микросхемы, кристаллодержатели и специальное техническое оборудование.

Химические элементы в промышленной пыли и почвах заводов \*

Компонент	K <sub>c</sub> относительно фонового содержания в почвах				
	> 300	300–100	100–30	30–10	10–3
	Электровыпрямитель				
Пыль технологическая	–	–	Cd-Cu-Mo	Cr-Pb-Co-Ni	Ag-Zn
Пылесметы	–	–	Pb-Mo-Zn-Cd	–	Cu-Cr
Почвы	–	W	Mo	Ag-Sn-Cu-Hg	Cd-Ge-Pb-Bi-Zn- Be
	Опытный завод силовой электроники				
Пыль технологическая	Cd	–	Pb-Mo	–	Cr-Ni-Cu-Zn-Ag
Пылесметы	Ag	Mo	–	Cd-Zn-Pb	Cu-Cr
Почва				Mo	W-Bi-Pb-Be
	Завод специальных силовых преобразователей				
Пыль технологическая	–	–	–	Cd-Ag	Ni-Cu-Zn-Mo-Cr
Пылесметы	Ag	–	–	Cu	Co-Cr
Почвы	–	–	–	–	Pb-Bi-Cd-Be
	Завод полупроводниковых изделий				
Пыль технологическая	Sb-Zn	Ag	Pb	Cu	Ni-Cr-Cd-Bi
Пыль вентиляционная	–	Pb	Cd	Zn-Cu	Cr
Пылесметы	–	Zn	Cu	Pb-Cr-Ni-Cd-Co	–
Почвы	–	–	–	Cd	W-Sb-Hg-Bi-Sn- Be-Pb
					Co-V-Cu-Ag-Zn-Yb-B- Li-Ga

\* На предприятиях были отобраны пробы технологической пыли (из циклонов, с фильтров и т. д.), вентиляционной пыли (из местных вентиляционных систем цехов), пылесметов (пыль в производственных помещениях с различных поверхностей – столов, подоконников, эстакад и т. п.).

Наиболее вредные производственные процессы были связаны с конвейерами полимеризации, гальваникой, ваннами золочения и шкафами травления. В стоках присутствовали свинец, формальдегид, соединения азота, соляная и азотная кислоты, фториды. В выбросах в атмосферу – оксиды углерода, азота, неорганические кислоты, формальдегид, фенол, спирты, ацетон, фтористый водород, цианистый водород, диметилформамид, четыреххлористый углерод, малеиновый ангидрид, эпихлоргидрин, толуол, пыль шпифовочная и др. Следует отметить, что, например, в 1995 г. по числу заболевших злокачественными новообразованиями (с впервые установленным в этом году диагнозом) в г. Саранске на третьем месте находился завод «Электровыпрямитель». Кроме того, на заводе ОЗСЭ временная нетрудоспособность составила 8,3 случая и 1013 дней на 100 работающих, что являлось самым высоким показателем среди всех предприятий города [15].

Исследования показали, что в различных разновидностях промышленной пыли, образующихся при технологических процессах на предприятиях, и в почвах промзон последних концентрировался (относительно фоновых уровней в местных почвах) достаточно широкий комплекс химических элементов, особенно тяжелых металлов (табл. 3). Уровни содержания кадмия, серебра, молибдена, свинца, меди, цинка, сурьмы в промышленной пыли (и в меньшей степени в почвогрунтах промзон) в десятки и даже сотни раз превышали их концентрации в фоновых почвах (которые являются основным источником поступления твердых частиц в атмосферу в природных условиях). Обращают на себя внимание очень высокие концентрации металлов в пылесметах, т. е. в промышленной пыли из производственных помещений предприятий. Промышленная пыль резко отличается от фоновых почв специфическим общим химическим составом: высокими содержаниями железа, кальция и (в меньшей степени) магния (табл. 4). Определенная (но обычно небольшая) доля металлов присутствует в промышленной в пыли в подвижных, геохимически активных формах нахождения, извлекаемых аммонийно-ацетатной вытяжкой (табл. 5).

Показательно, что в наружных стальных покрытиях (штукатурке и т. п.) производственных зданий завода «Электровыпрямитель» уровни концентрации ртути, свинца, цинка и сурьмы существенно (в несколько раз) превышали их фоновые содержания в почвах, что, очевидно, не исключает их поступления в атмосферу в «парогазовой» форме и последующей сорбцией стальными покрытиями. Некоторые металлы (особенно цинк, медь, кадмий, иногда свинец и никель) интенсивно накапливались в листьях березы, произрастающей вблизи предприятий (табл. 6).

Таблица 4

**Макросостав технологической (1), вентиляционной пыли (2), пылесметов (3) и фоновых почв, %**

Завод	Пыль	Fe	CaO	MgO	CaO/MgO	MgO/CaO
ЗССП	2	3,36	7,95	2,27	2,50	0,40
	3	14,2	6,65	1,17	4,10	0,24
ЗППИ	1	10,51	–	–	–	–
Фоновые почвы		4	0,47	0,70	0,48	2,07

Таблица 5

**Формы нахождения тяжелых металлов в почвах промышленных зон**

Металл	Электровыпрямитель			ОЗСЭ			ЗССП		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Cu	100	1,7	1,7	26	0,8	3,1	26	0,1	0,4
Zn	220	32	14,5	82	1,9	2,3	160	1,6	1
Ni	75	2	2,7	46	0,7	1,5	37	0,2	0,5
Cr	260	2,5	1	80	0,2	0,3	80	0,1	0,1
Pb	60	3,9	6,5	30	0,9	3	30	0,2	0,7

Примечание. 1 – валовое содержание, мг/кг; 2 – ацетатно-аммонийная вытяжка (рН=4,8), мг/кг; 3 – доля подвижных форм, извлекаемых указанной вытяжкой.

Таблица 6

**Химические элементы в листьях березы, мг/кг сухой массы**

Промзона заводов	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Pb
Электровыпрямитель	9	20	380	0,6	1,7	3
Полупроводниковых изделий	10	32	240	0,5	<0,05	3
Точных приборов	3	9	380	0,5	<0,05	8
Местный фон	4	4,4	35	0,4	0,05	2,5

На границе промышленной зоны завода «Электровыпрямитель» в приземном слое атмосферного воздуха (даже при однократном опробовании в безветренную погоду) обнаруживались повышенные (по сравнению с местным фоном) концентрации ряда органических соединений (табл. 7).

В промышленных шламах, образующихся на локальных очистных сооружениях завода полупроводниковых изделий и завода «Электровыпрямитель», в экстремально высоких содержаниях накапливалась широкая группы химических элементов, прежде всего, тяжелых металлов, фтора и фосфора (табл. 8). Качественный (элементарный) состав фиксируемых в промышленных шламах геохимических ассоциаций в целом хорошо отражая специфику технологических процессов на этих предприятиях. Расчеты показали, что, например, на локальных очистных сооружениях завода «Электровыпрямитель» ежегодно образовывалось более 900 т шлама, в котором содержалось до 12 т цинка, более 7 т меди, более 3 т никеля, около 2 т олова, 1,5 т молибдена, 0,4 т кадмия, 0, 02 т серебра. Можно предположить, что за весь период функционирования предприятий полупроводниковой промышленности на местную (городскую) свалку с промышленными шламами были вывезены сотни тонн тяжелых металлов. Промышленные шламы также отличаются (от фоновых почв и фонового аллювия) чрезвычайно специфическим общим химическим составом, прежде всего, очень невысоким содержанием кремнезема и экстремально высокими уровнями оксидов кальция и магния, а также органики (по значению показателя потерь при прокаливании), достаточно высоки концентрации серы, фтора и фосфора (табл. 9).

С эколого-токсикологической точки зрения, чрезвычайно важным является тот факт, что значительные количества (значительная доля от вала) химических элементов присутствуют в промышленных шламах в геохимически подвижных формах (табл. 10, 11). Характерно, что удельные содержания подвижных форм многих тяжелых металлов заметно, нередко существенно, превышают их фоновые валовые концентрации в почвах. Это определяет потенциальную опасность и высокую миграционную способность металлов при складировании отходов на территории предприятий или при захоронении на свалках. Таким образом, промышленные шламы, образующиеся в ходе очистки производственных сточных вод на локальных заводских сооружениях предприятий полупроводниковой промышленности, характеризуются своеобразным петрохимическим составом, повышенными и очень высокими концентрациями широкой группы химических элементов (особенно тяжелых металлов), высокими удельными и относительными содержаниями подвижных форм последних и обладают в общем случае (по значениям суммарного показателя загрязнения) высокой потенциальной экотоксикологической опасностью.

В ходе исследований было установлено, что дети, родители которых работали на заводе «Электровыпрямитель», отличались заметно более высокими уровнями содержания свинца в волосах, нежели дети работников непромышленных организаций (табл. 12). Отсюда следует, что пыль и аэрозоли, образующиеся в ходе производственных процессов на указанном предприятии и значительно обогащенные свинцом, в той или иной степени сорбируются одеждой и обувью рабочих и затем поступают (переносятся рабочими на одежде, обуви) в жилые помещения. Безусловно, данный источник загрязнения жилой среды свинцом (как и другими химическими элементами) является потенциальным фактором гигиенического риска для детей и других членов семей профессиональных рабочих. Очевидно, что необходима организация специального санитарно-гигиенического контроля на предприятиях и осуществление программ, направленных на обследование членов семей профессиональных рабочих, контактирующих в производственных условиях с вредными веществами.

Таблица 7

**Органические соединения в приземном слое атмосферном воздухе в зоне влияния завода «Электровыпрямитель», мкг/м<sup>3</sup>**

Компонент	Электровыпрямитель	Местный фон
C <sub>1</sub> -C <sub>3</sub>	95	30
бутан	5	3
пентан	17	5
2-метилбутан	22	15
2-метилпентан	15	13
3-метилпентан	0,4	0,2
2-метилгексан	3	1
3-метилгексан	5	3
1-гептен	3	0,5
циклогексан	2	0,4
изомеры C <sub>7</sub>	8	3
3-метилгептан	15	8

## Ассоциации химических элементов в промышленных шлаках

Завод	Коэффициенты концентрации химических элементов относительно содержания в фоновых почвах							Zc
	> 1000	1000–300	300–100	100–30	30–10	10–3	3–1,5	
ППИ	Sn <sub>8750</sub> -Bi <sub>2750</sub> - Au <sub>2500</sub> -Ag <sub>2000</sub>	–	F <sub>185</sub>	Ni <sub>168</sub> -Cu <sub>160</sub> -Mo <sub>54</sub> -Cr <sub>40</sub> -Zn <sub>37</sub> - Pb <sub>35</sub> -Cd <sub>34</sub>	W-P	B	Co-Sr	16535
ЭВ	Mo <sub>1333</sub> -Cd <sub>1143</sub>	Bi <sub>800</sub> -Sn <sub>425</sub> - Ag <sub>400</sub>	Cu <sub>267</sub> -Zn <sub>144</sub>	Ni <sub>174</sub> -W <sub>67</sub> -F <sub>40</sub>	P-Cr-	B-Pb-Sb	Sr	4708

Примечание. Zc – суммарный показатель загрязнения.

Таблица 9

**Средний химический состав промышленных шламов, фоновых почв  
и руслового аллювия, %, сухая масса**

Компонент	Шлам ППИ	Фоновые почвы	Фоновый аллювий
SiO <sub>2</sub>	2,43	74,69	81,63
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,54	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,17	6,41	5,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,26	2,59	4,03
FeO	0,21	0,47	0,57
MnO	0,04	0,20	0,08
CaO	28,26	0,47	0,78
MgO	16,88	0,70	0,37
Na <sub>2</sub> O	0,50	0,55	0,56
K <sub>2</sub> O	0,10	1,48	1,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,86	0,14	0,19
H <sub>2</sub> O	5,66	4,28	1,37
ППП	33,68	7,20	3,66
S=O	0,99	<0,10	<0,10
Сумма	98,23	99,72	99,84
S <sub>общ</sub>	1,98	<0,10	<0,10
CO <sub>2</sub>	17,60	0,22	0,66
Фтор	3,70	0,02	0,02

Примечание. ППП – потери при прокаливании.

Таблица 10

**Формы нахождения химических элементов в промышленных шламах**

Элемент	Электровыпрямитель			ППИ		
	1	2	3	1	2	3
Cu	6600	1283	19	1200	70,3	5,9
Zn	8200	2094	26	1650	177,8	10,8
Ni	3600	71020	19,7	2530	625,8	24,7
Cr	860	38	4,4	1510	54	3,6
Co	6,8	0,6	8,8	12	1,35	11,3
Cd	–	–	–	6	1,25	20,8
Mo	1500	150	10	–	4,5	–
Ag	20	0,02	0,1	8	0,03	0,4
Pb	140	4	2,9	440	21	4,8
Bi	150	23	15,3	40	2,4	6
Fe	9000	550	6,1	4700	35,9	0,8
Mn	200	33	16,5	360	45,4	12,6

Примечание. 1 – удельное валовое содержание, мг/кг; 2 – удельное содержание подвижных форм, извлекаемых ацетатно-аммонийной вытяжкой, мг/кг; 3 – относительная доля подвижных форм, %.

**Ассоциации подвижных форм химических элементов в промышленных шламах**

Предприятие	Химические элементы, доля подвижных форм которых составляет (в % от вала):	Химические элементы, доля подвижных форм которых составляет (в % от вала):					
		< 10	10-20	20-30	30-40	40-50	> 50
ППИ	Ag-Fe-Cr-Pb-Cu-Bi	Zn <sub>10</sub> -Co <sub>11</sub> -Mn <sub>12</sub>		Cd <sub>20</sub> -Ni <sub>24</sub>	-	-	-
ЭВ	Ag-Pb-Cr-Fe-Co	Mo <sub>10</sub> -Bi <sub>15</sub> -Mn <sub>16</sub> -Cu <sub>19</sub> -Ni <sub>19</sub>		Zn <sub>26</sub>	-	-	-

Свинец в волосах детей дошкольного (1) и школьного (2) возраста

Место работы родителей, завод, предприятие	Количество проб		Среднее, мкг/г	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Электровыпрямитель	3	9	11,67	5,80
Прочие «непромышлен- ные»	14	17	3,65	2,84
Фон местный	–	–	3,58	
Допустимый уровень	–	–	8	
Критический уровень	–	–	24	

Таким образом, предприятия полупроводниковой промышленности характеризуются наличием производственных процессов, в которых используются различные материалы, химические элементы и их соединения, которые способны поступать в атмосферный воздух, в сточные воды и твердые отходы. С гигиенической и экологической точек зрения, особое значение среди этих веществ имеют разнообразные органические соединения (в том числе летучие), неорганические кислоты, тяжелые металлы, селен, сурьма, фтор и фосфор. Особенно высокими концентрациями тяжелых металлов отличаются разновидности промышленной пыли, образующиеся на предприятиях в ходе технологических процессов, а также промышленные шламы, накапливающиеся на локальных заводских очистных сооружениях. Пыль и шламы характеризуются своеобразным общим химическим составом и присутствием значимых удельных и относительных содержаний подвижных форм нахождения многих металлов. Поступающие с организованными и неорганизованными выбросами в атмосферу химические элементы активно накапливаются, особенно в пределах и вблизи промышленных зон, в почвах и городской растительности. В районе старых предприятий полупроводниковой промышленности реально наличие остаточных зон ртутного загрязнения. В любом случае, особенно с учетом быстрого развития технологий в полупроводниковой промышленности, необходима организация детальных эколого-геохимических исследований воздействия на окружающую среду различных предприятий данной отрасли.

### Литература

1. Бессонов В.В., Янин Е.П. Ртутьсодержащие приборы и устройства: экологические аспекты производства и использования. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 52 с.
2. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижаккин С.А. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. – М.: ИМГРЭ, 1993. – 115 с.
3. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V–VIII групп. Справ. изд. – Л.: Химия, 1989. – 592 с.
4. Заева Г.Н. Мышьяк. – М.: ЦМП ГКНТ СССР, 1983. – 51 с.
5. Копь П.Я. Селен. – М.: ЦМП ГКНТ СССР, 1984. – 23 с.
6. Монаenkova М.К., Глотова К.В. Интоксикация селеном // Гигиена и санитария, 1963, № 6, с. 41–44.
7. Мэклин Э.Д. Терморезисторы: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.

8. *Окадзакэ К.* Технология керамических диэлектриков: Пер. с яп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 327 с.

9. *Полякова М.М., Сидорова Н.В., Спиридонова В.С. и др.* Состояние здоровья и условия труда работающих с таллием и его соединениями // Гигиена труда и профессиональные заболевания, 1977, № 2, с. 14–16.

10. Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для производства полупроводниковых приборов и другой электронной аппаратуры. Международная финансовая корпорация. Группа Всемирного банка, 2007. – 23 с. // <https://www.ifc.org>.

11. Руководство по экологическим и социальным вопросам по отраслям. Производство полупроводников. European Bank for Reconstruction and Development, 2009. – 13 с. // <https://www.ebrd.com/downloads/policies/environmental/semi-condnr.pdf>.

12. *Свердлина Н.Т., Масленникова В.С.* Гигиеническая оценка условий труда в производстве селеновых фотоэлементов // Материалы научной сессии Ленинградского НИИ гигиены труда и профзаболеваний. – Л., 1961, с. 73–75.

13. Селен: Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Вып. 58: Пер. с англ. – Женева-Москва: ВОЗ-Медицина, 1989. – 270 с.

14. *Случинская П.А.* Основы материаловедения и технологии полупроводников. – М.: МИФИ, 2002. – 376 с.

15. Состояние здоровья населения и среды обитания города Саранска Республики Мордовия. – Саранск, 1996. – 89 с.

16. *Таиров Ю.М., Цветков В.Ф.* Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. – СПб.: Изд-во «Лань», 2002. – 424 с.

17. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. – М.: Стройиздат, 1978. – 590 с.

18. *Шефтель И.Т.* Терморезисторы. – М.: Наука, 1973. – 415 с.

19. *Эйтингтон А.И.* Таллий. – М.: ЦМП ГКНТ СССР, 1983. – 25 с.

20. *Янин Е.П.* Геохимические особенности и экологические последствия загрязнения свинцом городской среды // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998, с. 77–103.

21. *Янин Е.П.* Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.

22. *Янин Е.П.* Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды города Саранска. Состав техногенного загрязнения // Экологический вестник Мордовии. Бюллетень. № 1, март 2002, с. 25–33

23. *Янин Е.П.* Промышленная пыль в городской среде (геохимические особенности и экологическая оценка). – М.: ИМГРЭ, 2003. – 82 с.

24. *Янин Е.П.* Место работы родителей как возможный фактор гигиенического риска для детей // Медицина труда и промышленная экология, 2009, № 6, с. 37–39.

25. *Янин Е.П.* Экологические аспекты использования органических растворителей и лакокрасочных материалов в электротехнической промышленности // Ресурсосберегающие технологии, 2010, № 12, с. 3–13.

26. *Янин Е.П.* Особенности накопления тяжелых металлов в волосах детей в условиях промышленного города // Экологическая экспертиза, 2011, № 4, с. 112–116.

27. *Янин Е.П.* Промышленные шламы (химический состав, геохимические особенности, экологическая оценка) // Экологическая экспертиза, 2017, № 6, с. 26–37.

28. Янин Е.П. Пыль из производственных помещений (химический состав и геохимические особенности) // Экологическая экспертиза, 2017, № 6, с. 148–156.

29. *Edelman P.* Environmental and workplace contamination in the semiconductor industry: implications for future health of the workforce and community // *Environ. Health Perspect.*, 1990, v. 86, p. 291–295.

30. *Fraust C.L., Cornejo P.L., Davis R.B. et al.* Environmental control in semiconductor manufacturing // *AT&T Technical Journal*, 1992, 71, № 2, p. 19–28.

31. *Peysler A. de, Silbers J.A.* Arsenic levels in hair of workers in a semiconductor fabrication facility // *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1995, 56, № 4, p. 377–383.

32. *Yanin E.P.* Electrical Engineering Industry and the Urban Environment (man-made pollution and ecological effects). – Moscow: Dialog-MGU Publ., 1998. – 37 p.