

Лео М. Л. Ноллет, Лин С. П. Де Гелдер (ред.)

# АНАЛИЗ ВОДЫ

*Справочник*

*Перевод с английского языка 2-го издания  
под редакцией И. А. Васильевой, Е. Л. Пролетарской*

# Оглавление

Предисловие к русскому изданию .....	23
Предисловие ко второму изданию .....	25
Сведения об авторе .....	26
Соавторы .....	26
<b>1. Методы отбора проб в поверхностных водах .....</b>	<b>29</b>
1.1. Введение .....	29
1.2. Общие вопросы отбора и обработки проб .....	30
1.2.1. Планирование отбора .....	30
1.2.2. Место отбора .....	31
1.2.3. Время отбора .....	31
1.2.4. Необходимое количество проб .....	32
1.2.5. Объем проб .....	33
1.2.6. Хранение и консервация .....	33
1.2.6.1. Загрязнение проб .....	33
1.2.6.2. Потери анализируемого вещества .....	34
1.2.6.3. Сорбция .....	34
1.2.6.4. Рекомендуются условия хранения .....	36
1.2.6.5. Контроль качества при отборе проб .....	36
1.3. Методы отбора проб в различных экосистемах .....	37
1.3.1. Озера и водохранилища .....	37
1.3.2. Проточные системы .....	52
1.3.2.1. Места отбора проб в потоке .....	52
1.3.2.2. Описание продольного градиента .....	52
1.3.2.3. Изменения качества воды с течением времени .....	53
1.3.2.4. Использование осадков для интегрирования во времени .....	55
1.3.3. Моря и устья рек .....	55
1.3.4. Городские территории .....	56
1.4. Оборудование для отбора проб .....	58
1.4.1. Общие соображения .....	58
1.4.2. Ручные системы отбора .....	58
1.4.2.1. Простой пробоотборник для мелководных систем .....	58
1.4.2.2. Пробоотборник для больших количеств воды из мелководных систем .....	58

1.4.2.3.	Простой пробоотборник для глубинных вод . . . . .	59
1.4.2.4.	Пробоотборник для глубинных вод (без доступа воздуха в пробы) . . . . .	59
1.4.2.5.	Пробоотборник для глубинных вод с определением следовых элементов (со смешиванием воздуха с водой) . . . . .	60
1.4.3.	Системы отбора проб в придонных слоях на различной глубине . . . . .	61
1.4.3.1.	Глубинные воды (более 50 м) . . . . .	61
1.4.3.2.	Мелководные системы (менее 50 м) . . . . .	61
1.4.4.	Автоматические системы отбора . . . . .	62
1.4.4.1.	Средние концентрации в отбираемых пробах . . . . .	62
1.4.4.2.	Средние концентрации — пробоотборные буйки . . . . .	62
1.4.4.3.	Отбор с автоматическим реагированием для контроля кратковременных загрязнений в промышленных условиях . . . . .	62
1.4.4.4.	Оперативный текущий мониторинг . . . . .	63
1.4.4.5.	Отбор с автоматическим реагированием: анализ поверхностных стоков с сельскохозяйственных земель . . . . .	64
1.4.4.6.	Другие проблемы, связанные с оборудованием для автоматического отбора проб . . . . .	67
1.4.5.	Методы экстракции . . . . .	69
1.4.5.1.	Экстракция больших объемов в системе жидкость—жидкость . . . . .	70
1.4.5.2.	Методы твердофазной экстракции . . . . .	70
1.4.5.1.	Пассивные устройства для отбора проб . . . . .	75
1.4.6.	Концентрации загрязнителей во взвешях и осадках . . . . .	80
1.4.6.1.	Устройство для отбора проб взвешенных частиц в малых потоках . . . . .	80
	Литература . . . . .	82
<b>2.</b>	<b>Методы обработки данных . . . . .</b>	<b>89</b>
2.1.	Введение . . . . .	89
2.2.	Сбор данных . . . . .	90
2.3.	Представление данных . . . . .	91
2.4.	Мониторинг процесса и контроль качества . . . . .	105
2.5.	Трехмодальный PCA . . . . .	106
2.6.	Классификация . . . . .	109
2.7.	Моделирование . . . . .	112
2.8.	Градуировка . . . . .	113
2.9.	Отбор переменных . . . . .	115
2.10.	Перспективы . . . . .	116
2.11.	Преимущества и недостатки хемометрики . . . . .	118
	Литература . . . . .	118
	Рекомендуемая литература . . . . .	119
<b>3.</b>	<b>Методы радиационного анализа воды . . . . .</b>	<b>121</b>
3.1.	Введение . . . . .	121
3.2.	Радионуклиды в окружающей среде . . . . .	122
3.3.	Детекторы . . . . .	123
3.3.1.	Детекторы гамма-излучения . . . . .	124
3.3.2.	Детекторы альфа-излучения . . . . .	126

3.3.3.	Детекторы бета-излучения . . . . .	126
3.3.4.	Масс-спектрометры . . . . .	127
3.3.5.	Подсчет распадов и масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой . . . . .	128
3.4.	Методы разделения . . . . .	129
3.5.	Экстракционная хроматография . . . . .	131
3.6.	Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой . . . . .	133
3.7.	Применение технологии <i>Rad-Disk</i> . . . . .	136
3.7.1.	Стронций . . . . .	136
3.7.2.	Радий . . . . .	136
3.7.3.	Технеций-99 . . . . .	137
3.7.4.	Висмут и полоний . . . . .	137
3.8.	Измерения неравновесных систем радионуклидов в водных пробах . . . . .	137
	Литература . . . . .	138
<b>4.</b>	<b>Бактериологический анализ воды . . . . .</b>	<b>142</b>
4.1.	Введение . . . . .	142
4.1.1.	Разнообразие водных объектов и их использование . . . . .	142
4.1.2.	Разнообразие водных бактерий . . . . .	142
4.2.	Водные патогенные бактерии и их индикаторы . . . . .	143
4.2.1.	Водные патогенные бактерии . . . . .	143
4.2.2.	Бактерии как индикаторы присутствия патогенных организмов в воде . . . . .	145
4.2.2.1.	Общие колиформы . . . . .	147
4.2.2.2.	Фекальные колиформы . . . . .	147
4.2.2.3.	<i>Escherichia coli</i> . . . . .	148
4.2.2.4.	Фекальные стрептококки . . . . .	149
4.2.2.5.	Энтерококки . . . . .	149
4.2.2.6.	<i>Clostridium perfringens</i> . . . . .	149
4.3.	Динамика численности бактерий-индикаторов в поверхностных водах и проблемы, связанные с использованием фекальных колиформ в качестве индикатора присутствия патогенных организмов . . . . .	150
4.3.1.	Зависимость динамики численности фекальных колиформ в поверхностных водах от факторов окружающей среды: проблемы оценки уровней численности термотолерантных колиформных бактерий в поверхностных водах . . . . .	150
4.3.2.	Проблемы, связанные с использованием фекальных колиформ в качестве индикаторов патогенных организмов . . . . .	151
4.4.	Отслеживание источников бактериального загрязнения. Другие индикаторы фекального загрязнения и оценка качества вод . . . . .	152
4.4.1.	Отслеживание источников бактериального загрязнения . . . . .	152
4.4.2.	Другие индикаторы фекального загрязнения . . . . .	154
4.4.3.	Обнаружение <i>Prevotella-Bacteroides</i> . . . . .	154
4.4.4.	Применение метода количественного подсчета гетеротрофных микроорганизмов на чашках Петри для оценки качества воды . . . . .	155
4.5.	Бактериологические стандарты качества воды . . . . .	155
4.6.	Отбор, обработка, разведение проб и анализ данных . . . . .	158
4.7.	Методы обнаружения и определения численности бактерий в воде . . . . .	158

4.7.1.	Чашечный метод культивирования .....	159
4.7.1.1.	Методика количественного подсчета жизнеспособных микроорганизмов на чашках Петри .....	159
4.7.1.2.	Метод наиболее вероятного числа (титрационный, или <i>MPN</i> ) ..	160
4.7.1.3.	Тест на наличие/отсутствие .....	160
4.7.2.	Прямая эпифлуоресцентная микроскопия .....	160
4.7.3.	Генные зонды в анализе воды .....	162
4.7.4.	Метод «отпечатков» ДНК. ....	162
4.8.	Обнаружение и подсчет численности бактерий в воде .....	164
4.8.1.	Количественный подсчет гетеротрофных микроорганизмов .....	164
4.8.1.1.	Глубинный и поверхностный методы посева на чашках Петри ..	164
4.8.1.2.	Метод мембранной фильтрации .....	166
4.8.2.	Определение численности общих колиформ, фекальных колиформ и <i>Escherichia coli</i> . ....	166
4.8.2.1.	Титрационный метод ( <i>MPN</i> -метод) .....	166
4.8.2.2.	Титрационный метод обнаружения фекальных колиформ .....	168
4.8.2.3.	Метод мембранной фильтрации .....	169
4.8.2.4.	Обнаружение и определение числа микроорганизмов с помощью хромогенных и флуорогенных питательных сред. ...	171
4.8.3.	Определение числа фекальных стрептококков/энтерококков .....	174
4.8.3.1.	Метод мембранной фильтрации .....	174
4.8.3.2.	Альтернативный метод обнаружения фекальных стрептококков в воде .....	175
4.8.3.3.	Определение фекальных стрептококков/энтерококков методом наиболее вероятного числа .....	176
4.8.3.4.	Обнаружение фекальных стрептококков/энтерококков с использованием ферментированных субстратов .....	177
4.8.4.	Оценка численности <i>Staphylococcus aureus</i> . ....	178
4.8.4.1.	Метод мембранной фильтрации .....	178
4.8.4.2.	Метод наиболее вероятного числа для обнаружения <i>Staphylococcus</i> .....	179
Литература	.....	180
<b>5.</b>	<b>Анализ морских токсинов .....</b>	<b>187</b>
5.1.	Классификация морских токсинов .....	187
5.2.	Неаналитическое обнаружение .....	188
5.2.1.	Биологический анализ, основанный на реакции мышей .....	194
5.2.2.	Методы, основанные на использовании антител .....	197
5.2.3.	Радиологические методы .....	198
5.2.4.	Клеточные методы .....	198
5.2.5.	Рецепторные методы .....	198
5.3.	Аналитическое обнаружение .....	199
5.3.1.	Высокоэффективная жидкостная хроматография .....	199
5.3.1.1.	Домоевая кислота .....	199
5.3.1.2.	<i>PSP</i> : паралитический яд моллюсков, сакситоксин и аналоги. ...	199
5.3.2.	Жидкостная хроматография .....	199
5.4.	Стандарты и валидация .....	203
Литература	.....	204

<b>6.</b>	<b>Галогены</b> .....	<b>211</b>
6.1.	Введение: физические и химические свойства .....	211
6.2.	Определение галогенов и их производных при анализе воды .....	212
6.2.1.	Активный хлор .....	214
6.2.1.1.	Обнаружение .....	214
6.2.1.2.	Количественное определение свободного хлора в пробах воды ..	215
6.2.2.	Диоксид хлора .....	225
6.2.2.1.	Определение диоксида хлора .....	225
6.2.3.	Хлориды .....	230
6.2.3.1.	Обнаружение .....	230
6.2.3.2.	Количественное определение .....	231
6.2.4.	Фториды .....	241
6.2.4.1.	Обнаружение .....	241
6.2.4.2.	Количественное определение содержания фторидов в пробах воды .....	242
6.2.5.	Бромиды .....	249
6.2.5.1.	Определение содержания бромидов в воде .....	249
6.2.5.2.	Спектрофотометрический метод, основанный на применении розанилина .....	250
6.2.5.3.	Методы электрометрического определения бромидов .....	251
6.2.5.4.	Анализ с этапом предварительного концентрирования .....	253
6.2.6.	Йодиды .....	254
6.2.6.1.	Определение бромидов и йодидов .....	255
6.2.6.2.	Определение содержания йода .....	255
6.3.	Применение ионной хроматографии .....	257
	Литература .....	261
<b>7.</b>	<b>Анализ содержания соединений серы в воде</b> .....	<b>265</b>
7.1.	Введение .....	265
7.2.	Подготовка пробы .....	266
7.2.1.	Экстракция .....	266
7.2.1.1.	Твердофазная экстракция .....	266
7.2.1.2.	Твердофазная микроэкстракция .....	267
7.2.2.	Дериватизация .....	274
7.3.	Методы анализа .....	274
7.3.1.	Хроматографические методы .....	274
7.3.1.1.	Газовая хроматография .....	274
7.3.1.2.	Жидкостная хроматография .....	275
7.3.1.3.	Ионная хроматография .....	275
7.3.1.4.	Высокоэффективная жидкостная хроматография .....	275
7.3.2.	Методы капиллярного электрофореза .....	276
7.3.2.1.	Капиллярный зонный электрофорез .....	277
7.3.2.2.	Мицеллярная электрокинетическая капиллярная хроматография .....	277
7.3.2.3.	Капиллярная электрохроматография .....	277
7.3.3.	Другие методы .....	277
7.3.3.1.	Проточно-инжекционный и последовательно-инжекционный методы анализа .....	277

7.3.3.2.	Катодная инверсионная вольтамперометрия	278
7.3.3.3.	Метод обратного йодометрического титрования	278
7.4.	Методы детектирования	278
7.4.1.	Спектрофотометрический анализ в ультрафиолетовой и видимой областях спектра	279
7.4.2.	Флуоресцентное детектирование	279
7.4.3.	Амперометрическое детектирование	279
7.4.4.	Импульсная пламенная фотометрия	279
7.4.5.	Масс-спектрометрия	280
	Литература	280
<b>8.</b>	<b>Фосфаты</b>	<b>283</b>
8.1.	Введение	283
8.1.1.	Физические и химические свойства	283
8.2.	Консервация, хранение и преданалитическая обработка проб	285
8.2.1.	Фильтрация	287
8.2.2.	Тип контейнера и предварительная обработка проб	290
8.2.3.	Физические условия хранения	290
8.2.3.1.	Химическая консервация	290
8.2.3.2.	Замораживание	291
8.2.4.	Предварительное концентрирование	291
8.2.5.	Разложение пробы	292
8.2.5.1.	Методы термического разложения	292
8.2.5.2.	Ультрафиолетовое фотоокисление	294
8.2.5.3.	Комбинированный термический гидролиз и разложение фотоокислением	295
8.3.	Методы аналитического исследования	295
8.3.1.	Колориметрия и спектрофотометрия	295
8.3.1.1.	Прямая фотометрия, основанная на образовании фосфоромолибдата или фосфорно-молибденовой сини	295
8.3.1.2.	Определение в виде невосстановленной ванадомолибденово-фосфорной кислоты	301
8.3.1.3.	Определение в виде фосфорно-молибденовой сини	301
8.3.1.4.	Детектирование в виде ассоциатов комплексных ионов 12-МРА	301
8.3.1.5.	Экстракция растворителем ассоциатов ионных комплексов фосфорно-молибденовой сини и фосфоромолибдата	302
8.3.1.6.	Экстракция фосфоромолибдата растворителем	302
8.3.1.7.	Помехи при фотометрическом анализе, основанном на образовании фосфоромолибдата и фосфорно-молибденовой сини	302
8.3.2.	Фотолюминесцентные методы	303
8.3.3.	Атомная спектрометрия	304
8.3.4.	Электрохимические методы	304
8.3.5.	Методы разделения	305
8.3.5.1.	Ионная хроматография	305
8.3.5.2.	Капиллярный электрофорез	306
8.3.6.	Автоматизированные методы	306

8.3.6.1.	Сегментированный анализ в режиме постоянного потока . . . . .	307
8.3.6.2.	Проточно-инжекционный и последовательный инжекционный анализ . . . . .	307
8.3.6.3.	Автоматические серийные анализаторы . . . . .	307
8.4.	Применение в рамках анализа воды . . . . .	308
8.4.1.	Питьевая вода . . . . .	308
8.4.2.	Сточные воды . . . . .	309
8.4.3.	Жесткие (соленоватые) и эстуарные воды . . . . .	309
8.4.4.	Морская вода . . . . .	312
8.4.5.	Разработки портативных аналитических систем и систем для анализа <i>in situ</i> . . . . .	313
8.5.	Выводы . . . . .	313
	Литература . . . . .	314
<b>9.</b>	<b>Цианиды . . . . .</b>	<b>323</b>
9.1.	Введение . . . . .	323
9.2.	Анализ цианида . . . . .	325
9.2.1.	Классический метод . . . . .	325
9.2.2.	Инструментальные методы . . . . .	325
9.2.2.1.	Спектрофотометрические методы . . . . .	325
9.2.2.2.	Реагенты и растворы . . . . .	326
9.2.2.3.	Методика . . . . .	326
9.2.3.	Другие инструментальные методы . . . . .	326
9.2.4.	Проточно-инжекционный метод . . . . .	329
9.2.4.1.	Гомогенные проточно-инжекционные системы . . . . .	330
9.2.4.2.	Гетерогенная проточно-инжекционная система (косвенный метод) . . . . .	332
9.3.	Электрохимия и сенсоры . . . . .	333
9.4.	Хроматография и экстракция . . . . .	336
9.5.	Микродистилляция . . . . .	337
9.6.	Наночастицы . . . . .	337
	Литература . . . . .	338
<b>10.</b>	<b>Определение содержания асбеста в воде . . . . .</b>	<b>341</b>
10.1.	Предыстория . . . . .	341
10.2.	Влияние асбеста на здоровье . . . . .	341
10.3.	Анализ . . . . .	343
10.3.1.	Аналитические приборы . . . . .	343
10.3.2.	Консервация пробы . . . . .	343
10.3.3.	Фильтрование пробы и подготовка сеток . . . . .	344
	Литература . . . . .	345
<b>11.</b>	<b>Тяжелые металлы, основные металлы, микроэлементы . . . . .</b>	<b>347</b>
11.1.	Отбор проб . . . . .	350
11.2.	Хранение и консервация . . . . .	352
11.3.	Предварительная подготовка проб . . . . .	353
11.4.	Разложение проб . . . . .	354



11.5. Аналитические методы .....	356
11.5.1. Классические методы .....	356
11.5.2. Спектрофотометрический метод .....	358
11.5.3. Методы пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии .....	359
11.5.4. Электротермическая атомно-абсорбционная спектроскопия .....	360
11.5.5. Методы с использованием индуктивно связанной плазмы .....	362
11.5.6. Электрохимические методы .....	363
11.5.6.1. Вольтамперометрические методики .....	363
11.5.6.2. Потенциометрические методики .....	364
11.5.7. Ионная хроматография .....	365
11.5.7.1. Другие хроматографические методы .....	366
11.5.8. Другие методы .....	366
11.5.8.1. Люминесцентный метод .....	366
11.5.8.2. Рентгенофлуоресцентная спектроскопия .....	367
11.5.8.3. Нейтронно-активационный анализ .....	367
11.5.9. Частный случай: анализ ртути .....	367
11.6. Заключение .....	368
Литература .....	369
<b>12. Анализ кремния и силикатов .....</b>	<b>389</b>
12.1. Введение .....	389
12.2. Аналитические методы .....	389
12.2.1. Спектрофотометрические приборы и методики .....	389
12.2.1.1. Стандартная методика Американской ассоциации охраны общественного здоровья (АРНА) [1] .....	390
12.2.1.2. Применение молибдатного метода и других спектрофотометрических методов .....	393
12.2.1.3. Метод проточно-инжекционного анализа и спектрофотометрические методики .....	397
12.2.1.4. Последовательный инжекционный анализ и спектрофотометрические методы .....	404
12.2.2. Другие методики и оборудование .....	409
12.2.2.1. Методы с использованием инфракрасного излучения [40] .....	409
12.2.2.2. Титриметрия и гравиметрия .....	410
12.2.2.3. Термогравиметрия .....	411
12.2.2.4. Хроматография .....	412
12.2.2.5. Электроаналитические методы .....	413
12.2.2.6. Метод, основанный на измерении скорости звука и плотности .....	414
Литература .....	414
<b>13. Основные параметры органического загрязнения воды и методы их исследования .....</b>	<b>417</b>
13.1. Введение .....	417
13.2. Биохимическое потребление кислорода .....	418
13.2.1. Метод разбавления .....	419
13.2.2. Инструментальные методы .....	419
13.2.2.1. Респирометрические методы .....	420

13.2.2.2. Биосенсоры .....	420
13.2.2.3. Другие методы .....	420
13.3. Химическое потребление кислорода .....	423
13.3.1. Классический метод (метод кипячения с обратным холодильником) .....	423
13.3.2. Полумикрометод (бихроматный метод) .....	424
13.3.3. Другие методы дискретного анализа .....	425
13.3.4. Методы на основе проточно-инжекционного анализа .....	428
13.4. Общий органический углерод .....	431
13.4.1. Методы высокотемпературного сжигания .....	433
13.4.2. Другие методы .....	433
13.5. Общие органические галиды .....	436
13.5.1. Адсорбционно-пиролитический титриметрический метод .....	436
13.5.2. Прямое измерение поглощения .....	438
13.5.3. Общие органические галиды как часть побочных продуктов дезинфекции .....	439
Литература .....	442
<b>14. Определение органического азота и мочевины .....</b>	<b>450</b>
14.1. Введение .....	450
14.2. Отбор проб .....	451
14.3. Фильтрование .....	452
14.4. Хранение .....	454
14.5. Аналитические методы определения общего растворенного азота и азота в составе твердых частиц .....	456
14.5.1. Разложение по Кьельдалю .....	457
14.5.2. Ультрафиолетовое окисление .....	458
14.5.3. Персульфатное окисление .....	460
14.5.4. Высокотемпературное окисление .....	462
14.5.4.1. Определение растворенного азота .....	462
14.5.4.2. Анализ азота в составе твердых частиц .....	464
14.5.5. Сравнение методов ультрафиолетового, персульфатного и высокотемпературного окисления .....	466
14.6. Определение мочевины .....	467
14.6.1. Прямые методы .....	468
14.6.2. Косвенные методы .....	470
Литература .....	471
<b>15. Органические кислоты .....</b>	<b>481</b>
15.1. Введение .....	481
15.2. Анализ .....	482
15.2.1. Общая часть .....	482
15.2.1.1. Консервация .....	482
15.2.1.2. Загрязнение .....	484
15.2.2. Атмосферные осадки, в том числе дождь и снег .....	484
15.2.2.1. Вводная часть .....	484
15.2.2.2. Дождевая вода .....	485

15.2.2.3.	Лед	487
15.2.2.	Питьевая вода	488
15.2.2.1.	Вводная часть	488
15.2.3.2.	Анализ	488
15.2.4.	Сточные воды	490
15.2.4.1.	Вводная часть	490
15.2.4.2.	Отбор проб	491
15.2.4.3.	Анализ	491
15.2.5.	Другие водные матрицы	492
15.2.5.1.	Подземные воды	492
15.2.5.2.	Морская вода	493
15.2.5.3.	Стоки с мусорных свалок	493
15.2.5.4.	Другие матрицы	494
15.3.	Перспективы	494
	Литература	494
<b>16.</b>	<b>Определение фенольных соединений в воде</b>	<b>499</b>
16.1.	Введение	499
16.2.	Классификация и химические свойства	500
16.3.	Методики <i>EPA</i> и другие официальные методики	500
16.4.	Определение фенольных соединений в воде методом жидкостной хроматографии	503
16.4.1.	Жидкостная хроматография с ультрафиолетовым детектированием и детектированием с помощью диодной матрицы	503
16.4.2.	Жидкостная хроматография с электрохимическим детектированием	504
16.4.3.	Жидкостная хроматография с флуоресцентным детектированием	506
16.4.4.	Жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием	507
16.5.	Газохроматографическое определение фенольных соединений в воде	508
16.6.	Альтернативные методы разделения	510
16.7.	Нехроматографические методики	511
16.8.	Процедуры подготовки проб	512
16.8.1.	Экстракция в системе жидкость—жидкость	512
16.8.1.1.	Жидкостно-жидкостная экстракция в сочетании с ВЭЖХ	513
16.8.1.2.	Жидкостно-жидкостная экстракция в сочетании с газохроматографическим разделением	513
16.8.2.	Твердофазная экстракция	513
16.8.3.	Твердофазная микроэкстракция	518
16.8.4.	Жидкостная микроэкстракция	520
16.8.5.	Экстракция с помощью жидкостной мембраны в виде полых волокон	523
16.8.6.	Прочие методы	524
16.9.	Заключение	525
	Литература	525
<b>17.</b>	<b>Анализ гуминовых веществ в пресной воде</b>	<b>531</b>
17.1.	Классификация органических веществ, присутствующих в природных водах	531
17.1.1.	Основные категории органических веществ в природных водах	531

17.1.2.	Распределение частиц по размерам .....	533
17.2.	Определение органического углерода .....	535
17.2.1.	CO <sub>2</sub> -метод .....	535
17.2.2.	Спектроскопия в ультрафиолетовой и видимой областях спектра .....	537
17.2.3.	Флуоресцентная спектроскопия .....	539
17.3.	Анализ растворенного органического углерода .....	541
17.3.1.	Хроматографические методы с применением различных смол .....	541
17.3.2.	Эксклюзионная хроматография высокого разрешения .....	543
	Литература .....	547
<b>18.</b>	<b>Анализ пестицидов в воде .....</b>	<b>549</b>
18.1.	Введение .....	549
18.2.	Физико-химические свойства .....	549
18.2.1.	Физико-химические свойства пестицидов и их разложение .....	550
18.2.2.	Токсичность пестицидов .....	550
18.2.3.	Нормативные документы .....	556
18.3.	Подготовка проб .....	557
18.3.1.	Экстракция .....	557
18.3.1.1.	Жидкостно-жидкостная экстракция .....	558
18.3.1.2.	Твердофазная экстракция .....	558
18.3.1.3.	Твердофазная микроэкстракция .....	559
18.3.1.4.	Другие методы экстракции .....	560
18.3.2.	Очистка .....	561
18.3.3.	Дериватизация .....	561
18.4.	Аналитические методы .....	562
18.4.1.	Хроматографические методы .....	562
18.4.1.1.	Газовая хроматография .....	563
18.4.1.2.	Жидкостная хроматография .....	578
18.4.1.3.	Другие хроматографические методы .....	578
18.4.2.	Нехроматографические методы .....	579
18.4.2.1.	Капиллярный электрофорез .....	579
18.4.2.2.	Иммунохимические методы .....	586
18.4.2.3.	Спектрофотометрические методы .....	587
18.4.2.4.	Электрохимические методы .....	588
18.5.	Заключение .....	588
	Литература .....	589
<b>19.</b>	<b>Остаточные количества фунгицидов и гербицидов в воде .....</b>	<b>599</b>
19.1.	Введение .....	599
19.2.	Фунгициды .....	599
19.2.1.	Защитные или поверхностно-активные фунгициды .....	600
19.2.2.	Лечебные или системные фунгициды .....	600
19.2.3.	Химический класс .....	600
19.2.3.1.	Карбаматы и их производные .....	602
19.2.3.2.	Замещенные бензолы .....	603
19.2.3.3.	Динитрофенолы .....	603
19.2.3.4.	Фталимиды .....	603

19.2.3.5.	Карбоксамиды (оксатинны) .....	604
19.2.3.6.	Азолы и их производные .....	604
19.2.4.	Антибиотики .....	605
19.2.5.	Фумиганты .....	605
19.3.	Гербициды .....	605
19.3.1.	Алифатические кислоты .....	608
19.3.2.	Ацетанилиды .....	608
19.3.3.	Гербициды на основе фенокси- и бензойной кислот .....	608
19.3.4.	Гербициды на основе бензонитрила .....	609
19.3.5.	Дипиридилиумы или дипиридилы .....	609
19.3.6.	Гербициды на основе карбамата и тиокарбамата .....	609
19.3.7.	Триазины .....	610
19.3.8.	Производные мочевины .....	610
19.4.	Нормативные документы .....	611
19.5.	Аналитические методы .....	613
19.5.1.	Отбор проб .....	613
19.5.1.1.	Отбор проб воды из колодцев .....	613
19.5.1.2.	Отбор проб водопроводной (питьевой) воды .....	614
19.5.1.3.	Отбор проб поверхностных вод .....	614
19.5.2.	Хранение пробы .....	614
19.5.3.	Экстракция .....	615
19.5.3.1.	Экстракция в системе «жидкость–жидкость» .....	615
19.5.3.2.	Твердофазная экстракция .....	616
19.5.4.	Методы разделения и детектирования .....	626
19.5.4.1.	Газовая хроматография .....	626
19.5.4.2.	Жидкостная хроматография .....	627
19.5.4.3.	Капиллярный электрофорез .....	627
19.5.4.4.	Масс-спектрометрия .....	633
19.6.	Заключение .....	637
	Литература .....	637
<b>20.</b>	<b>Полихлорированные бифенилы .....</b>	<b>645</b>
20.1.	Введение .....	645
20.2.	Физические и химические свойства .....	652
20.3.	Воздействие на здоровье .....	653
20.4.	Нормативы .....	656
20.5.	Аналитические методы .....	658
20.5.1.	Отбор и хранение проб .....	658
20.5.2.	Экстракция и преданалитическое концентрирование ПХБ .....	667
20.5.3.	Очистка экстракта .....	669
20.5.4.	Инструментальный анализ .....	669
20.5.5.	Электронозахватный детектор .....	673
20.5.6.	Масс-спектрометрический детектор .....	673
20.5.7.	Идентификация и количественное определение бифенилов .....	677
20.5.8.	Контроль качества аналитической работы .....	678
	Литература .....	679

<b>21. Определение ПХДД и ПХДФ в воде</b> .....	<b>686</b>
21.1. Введение .....	686
21.1.1. Свойства и значение .....	686
21.1.2. Методы анализа .....	687
21.1.3. Количественный метод определения с использованием внутреннего стандарта .....	689
21.2. Основные принципы, лежащие в основе метода .....	690
21.3. Отбор проб .....	691
21.3.1. Предварительные замечания .....	691
21.3.2. Взвешенные частицы .....	692
21.3.3. Растворенная фракция (вещества, перешедшие в раствор) .....	692
21.4. Экстракция .....	695
21.4.1. Предварительные замечания .....	695
21.4.2. Экстракция растворенных веществ из жидкости .....	696
21.4.3. Экстракция веществ из твердой матрицы .....	696
21.5. Очистка .....	696
21.6. Инструментальные методы анализа .....	698
21.6.1. Газовая хроматография .....	698
21.6.2. Масс-спектрометрия .....	699
21.6.3. Идентификация и количественное определение конгенов ПХДД и ПХДФ .....	699
21.7. Представление результатов .....	700
Литература .....	701
<b>22. Полициклические ароматические углеводороды</b> .....	<b>704</b>
22.1. Введение .....	704
22.2. Химическая структура ПАУ .....	704
22.3. Источники ПАУ .....	706
22.4. Присутствие ПАУ в окружающей среде .....	706
22.5. Токсичность .....	707
22.6. Генотоксичность .....	708
22.7. Канцерогенность .....	709
22.8. Канцерогенез ПАУ .....	710
22.9. Воздействие ПАУ на организм человека .....	712
22.10. Токсикокинетика .....	712
22.10.1. Всасывание .....	713
22.10.2. Распределение .....	713
22.10.3. Метаболизм .....	713
22.10.4. Выведение .....	714
22.11. Зависимость активности от структуры .....	714
22.12. Биомаркеры наличия ПАУ .....	715
22.13. Методы анализа ПАУ .....	716
22.13.1. Экстракция ПАУ .....	716
22.13.2. Очистка образцов .....	718

22.13.3. Обеспечение и контроль качества отбора образцов . . . . .	719
22.13.4. Исследования чувствительности метода . . . . .	719
22.13.5. Хроматографическое разделение ПАУ . . . . .	720
22.13.6. Анализ ПАУ посредством газовой хроматографии . . . . .	721
22.13.7. Анализ ПАУ посредством высокоэффективной жидкостной хроматографии . . . . .	721
22.13.8. Анализ ПАУ посредством мицеллярной электрокинетической капиллярной жидкостной хроматографии . . . . .	722
22.13.9. Применение внутреннего стандарта . . . . .	722
Литература . . . . .	724
<b>23. Анализ летучих органических соединений в воде . . . . .</b>	<b>727</b>
23.1. Введение . . . . .	727
23.1.1. Физико-химические, токсикологические и экологические аспекты . . . . .	729
23.1.2. Нормативные документы . . . . .	735
23.1.3. Проведение анализа . . . . .	736
23.1.3.1. Отбор и хранение проб . . . . .	736
23.1.3.2. Методы анализа . . . . .	737
23.1.3.3. Детекторы, колонки и условия проведения анализа методом газовой хроматографии . . . . .	738
23.2. Методы парофазной экстракции . . . . .	740
23.2.1. Статический парофазный анализ . . . . .	740
23.2.1.1. Факторы, влияющие на метод . . . . .	741
23.2.1.2. Ограничения и преимущества статического парофазного анализа . . . . .	754
23.2.2. Продувка и улавливание . . . . .	755
23.2.2.1. Факторы, влияющие на процессы продувки, улавливания и десорбции . . . . .	758
23.2.2.2. Ограничения и преимущества динамической парофазной экстракции (продувки и улавливания) . . . . .	767
23.3. Методы сорбционной экстракции . . . . .	767
23.3.1. Твердофазная микроэкстракция . . . . .	774
23.3.1.1. Абсорбция . . . . .	774
23.3.1.2. Десорбция . . . . .	779
23.3.1.3. Ограничения и преимущества твердофазной микроэкстракции . . . . .	780
23.3.2. Микротвердофазная экстракция на основе <i>SBSE</i> с использованием экстрагирующего стержня при анализе . . . . .	781
23.3.2.1. Ограничения и преимущества микротвердофазной экстракции на основе <i>SBSE</i> . . . . .	781
23.4. Метод мембранной экстракции . . . . .	782
23.5. Методы экстракции растворителем . . . . .	786
23.5.1. Жидкостно-жидкостная экстракция . . . . .	786
23.5.2. Однокапельная микроэкстракция . . . . .	788
23.5.2.1. Факторы, влияющие на метод . . . . .	788
23.5.2.2. Ограничения и преимущества однокапельной микроэкстракции . . . . .	790

23.5.3.	Жидкостнофазная микроэкстракция . . . . .	791
23.5.3.1.	Факторы, влияющие на метод . . . . .	791
23.5.3.2.	Ограничения и преимущества жидкостнофазной микроэкстракции . . . . .	792
23.6.	Другие методы . . . . .	792
23.7.	Заклучение . . . . .	793
	Литература . . . . .	793
<b>24.</b>	<b>Анализ содержания поверхностно-активных веществ в водных объектах окружающей среды. . . . .</b>	<b>808</b>
24.1.	Введение . . . . .	808
24.1.1.	Общие замечания . . . . .	809
24.1.1.1.	Анионные ПАВ . . . . .	809
24.1.1.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	809
24.1.1.3.	Катионные ПАВ . . . . .	809
24.2.	Отбор проб . . . . .	811
24.3.	Разделение и концентрирование . . . . .	812
24.3.1.	Твердофазная экстракция . . . . .	812
24.3.1.1.	Анионные ПАВ . . . . .	813
24.3.1.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	813
24.3.2.	Жидкостно-жидкостная экстракция . . . . .	814
24.3.3.	Твердофазно-жидкостная экстракция . . . . .	815
24.3.4.	Другие методы . . . . .	816
24.4.	Процесс проведения анализа . . . . .	816
24.4.1.	Колориметрический и титриметрический методы анализа . . . . .	816
24.4.1.1.	Анионные ПАВ . . . . .	816
24.4.1.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	816
24.4.1.3.	Катионные ПАВ . . . . .	817
24.4.2.	Высокоэффективная жидкостная хроматография . . . . .	817
24.4.2.1.	Анионные ПАВ . . . . .	822
24.4.2.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	823
24.4.2.3.	Катионные ПАВ . . . . .	825
24.4.3.	Газовая хроматография . . . . .	825
24.4.3.1.	Анионные ПАВ . . . . .	825
24.4.3.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	829
24.4.3.3.	Катионные ПАВ . . . . .	830
24.4.4.	Сверхкритическая флюидная хроматография . . . . .	830
24.4.5.	Капиллярный электрофорез . . . . .	830
24.4.5.1.	Анионные ПАВ . . . . .	831
24.4.5.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	831
24.4.5.3.	Катионные ПАВ . . . . .	831
24.4.6.	Масс-спектрометрия . . . . .	831
24.4.6.1.	Анионные ПАВ . . . . .	834
24.4.6.2.	Неионогенные ПАВ . . . . .	834
24.4.6.3.	Катионные ПАВ . . . . .	834
24.4.7.	Инфракрасная спектроскопия . . . . .	835
	Литература . . . . .	836



<b>25. Анализ химических веществ, нарушающих работу эндокринной системы, фармацевтической продукции и средств личной гигиены в воде . . . . .</b>	<b>839</b>
25.1. Введение . . . . .	839
25.2. Химические вещества, нарушающие работу эндокринной системы, фармацевтическая продукция и средства личной гигиены. . . . .	840
25.2.1. Химические вещества, нарушающие работу эндокринной системы . . . . .	840
25.2.1.1. Алкилфенолы и этоксилаты алкилфенолов . . . . .	842
25.2.1.2. Бисфенол А и бисфенол F . . . . .	843
25.2.1.3. Фитоэстрогены . . . . .	843
25.2.1.4. Стероидные гормоны . . . . .	844
25.2.2. Фармацевтическая продукция и средства личной гигиены . . . . .	844
25.3. Подготовка образцов . . . . .	846
25.3.1. Отбор образцов и хранение . . . . .	846
25.3.2. Экстракция . . . . .	846
25.3.2.1. Химические вещества, нарушающие работу эндокринной системы . . . . .	846
25.3.2.2. Фармацевтическая продукция и средства личной гигиены. . . . .	847
25.4. Методы анализа . . . . .	849
25.4.1. Алкилфенолы и этоксилаты алкилфенолов . . . . .	849
25.4.1.1. ГХ-МС . . . . .	849
25.4.1.2. ВЭЖХ, ЖХ-МС и ЖХ-МС-МС . . . . .	850
25.4.2. Бисфенол А и бисфенол F . . . . .	852
25.4.2.1. ГХ-МС . . . . .	852
25.4.2.2. ВЭЖХ, ЖХ-МС и ЖХ-МС-МС . . . . .	854
25.4.3. Фитоэстрогены . . . . .	855
25.4.3.1. ГХ-МС . . . . .	855
25.4.3.2. ВЭЖХ, ЖХ-МС и ЖХ-МС-МС . . . . .	855
25.4.4. Стероидные гормоны . . . . .	856
25.4.4.1. ГХ-МС и ГХ-МС-МС . . . . .	856
25.4.4.2. ВЭЖХ-ФД, ЖХ-МС и ЖХ-МС-МС . . . . .	856
25.4.5. Противовоспалительные и обезболивающие средства . . . . .	859
25.4.5.1. ГХ-МС . . . . .	859
25.4.5.2. ЖХ-МС-МС . . . . .	859
25.4.6. Средства, регулирующие липидный обмен. . . . .	862
25.4.6.1. ГХ-МС . . . . .	862
25.4.6.2. ЖХ-МС-МС . . . . .	862
25.4.7. $\beta$ -Блокаторы и $\beta_2$ -симпатомиметики . . . . .	863
25.4.7.1. ГХ-МС . . . . .	863
25.4.7.2. ЖХ-МС-МС . . . . .	863
25.4.8. Противораковые, противоопухолевые и психотропные лекарственные препараты . . . . .	864
25.4.8.1. ГХ-МС . . . . .	864
25.4.8.2. ЖХ-МС-МС . . . . .	864
25.4.9. Антибиотики . . . . .	865
25.4.10. Йодсодержащие контрастные вещества для рентгенологического обследования . . . . .	870
25.4.11. Средства личной гигиены . . . . .	870

Литература .....	872
<b>26. Миграция соединений из пластмасс .....</b>	<b>882</b>
26.1. Фталаты .....	882
26.1.1. Введение .....	882
26.1.1.1. Источники загрязнения фталатами и значение фталатов .....	882
26.1.1.2. Выбор методов .....	883
26.1.2. Извлечение и анализ методом ГХ-МС .....	883
26.1.2.1. Общее обсуждение .....	883
26.1.2.2. Отбор образцов и хранение .....	884
26.1.2.3. Оборудование .....	884
26.1.2.4. Реактивы .....	885
26.1.2.5. Методы экстракции .....	886
26.1.2.6. Условия проведения анализа методом ГХ-МС .....	892
26.1.2.7. Обработка результатов .....	893
26.1.2.8. Контроль качества .....	894
26.2. Другие компоненты пластмасс, которые могут мигрировать из полимеров .....	895
26.2.1. Акриламид .....	895
26.2.2. Винилхлорид .....	896
26.2.3. Эпихлоргидрин .....	896
26.2.4. Стирол .....	896
Литература .....	897
<b>Список сокращений .....</b>	<b>900</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>905</b>