

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ЭКОАНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ – привнесение новых, не характерных для нее физических, химических и биологических агентов или превышение их естественного уровня.

Таблица 1. Основные типы загрязнения

Физическое (тепловое, шумовое, электромагнитно, световое, радиоактивное)	Химическое (тяжелые металлы, пестициды, пластмассы и др. химические вещества)	Биологическое (биогенное, микробиологическое, генетическое)	Информационное (информационный шум, ложная информация, факторы беспокойства)
---	--	--	---

Любое химическое загрязнение – это появление химического вещества в непредназначенном для него месте. Загрязнения, возникающие в процессе деятельности человека, являются главным фактором его вредного воздействия на природную среду.

Химические загрязнители могут вызывать острые отравления, хронические болезни, а также оказывать канцерогенное и мутагенное действие. Например, тяжелые металлы способны накапливаться в растительных и животных тканях, оказывая токсическое действие. Кроме тяжелых металлов, особо опасными загрязнителями являются хлордиоксины, которые образуются из хлорпроизводных ароматических углеводородов, используемых при производстве гербицидов. Источниками загрязнения окружающей среды диоксинами являются и побочные продукты целлюлозно-бумажной промышленности, отходы металлургической промышленности, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания. Эти вещества очень токсичны для человека и животных даже при низких концентрациях и вызывают поражение печени, почек, иммунной системы.

Наряду с загрязнением окружающей среды новыми для нее синтетическими веществами, большой ущерб природе и здоровью людей может нанести вмешательство в природные круговороты веществ за счет активной производственной и сельскохозяйственной деятельности, а также образования бытовых отходов.

Загрязнению подвергаются атмосфера (воздушная среда), гидросфера (водная среда) и литосфера (твердая поверхность) Земли.

Таблица 2. Загрязнение окружающей среды

	Основные источники загрязнения	Основные вредные вещества
Атмосфера	Промышленность Транспорт Тепловые электростанции	Оксиды углерода, серы, азота Органические соединения Промышленная пыль
Гидросфера	Сточные воды Утечки нефти Автотранспорт	Тяжелые металлы Нефть Нефтепродукты
Литосфера	Отходы промышленности и Сельского хозяйства Избыточное использование Удобрений	Пластмассы Резина Тяжелые металлы

Вначале деятельность людей затрагивала лишь живое вещество суши и почву. В 19 в., когда начала бурно развиваться индустрия, в сферу промышленного производства начали вовлекаться значительные массы химических элементов, извлекаемых из земных недр. При этом воздействию стала подвергаться не только наружная часть земной коры, но также природные воды и атмосфера.

В середине 20 в. некоторые элементы стали использоваться в таком количестве, которое сопоставимо с массами, вовлеченными в природные круговороты. Низкая экономичность большей части современной индустриальной технологии привела к образованию огромного количества отходов, которые не утилизируются в смежных производствах, а выбрасываются в окружающую среду. Массы загрязняющих отходов столь велики, что создают опасность для живых организмов, включая человека.



Рис. 1. Загрязнение атмосферы различными отраслями промышленности

Хотя химическая промышленность не является главным поставщиком загрязнений (рис. 1), для нее характерны выбросы, наиболее опасные для природной среды, человека, животных и растений (рис. 2). Термин «опасные отходы» применяют к любого рода отходам, которые могут нанести вред здоровью или окружающей среде при их хранении, транспортировке, переработке или сбросе. К ним относятся токсичные вещества, воспламеняющиеся отходы, отходы, вызывающие коррозию и другие химически активные вещества.



Рис. 2. Загрязнение окружающей среды опасными отходами. Основная доля опасных отходов образуется за счет продукции химической промышленности.

В зависимости от особенностей циклов массообмена загрязняющий компонент может распространяться на всю поверхность планеты, на более или менее значительную территорию или иметь локальный характер. Таким образом, экологические кризисы, являющиеся результатом загрязнения окружающей среды, могут быть трех сортов – глобальные, региональные и локальные

Одной из проблем, имеющих глобальный характер, является возрастание содержания в атмосфере углекислого газа в результате техногенных выбросов. Наиболее опасным последствием этого явления может стать повышение температуры воздуха благодаря «парниковому эффекту». Проблема нарушения глобального цикла массообмена углерода уже переходит из области экологии в экономические, социальные и, в конце-концов, политические сферы.

В декабре 1997 в г. Киото (Япония) был принят *Протокол к рамочной конвенции Организации объединенных наций об изменении климата* (датированной маем 1992) Главное в *Протоколе* – количественные обязательства развитых стран и стран с переходной экономикой, включая Россию, по ограничению и снижению выбросов парниковых газов, прежде всего CO₂, в атмосферу в 2008–2012. У России разрешенный уровень выбросов парниковых газов на эти годы – 100% от уровня 1990. Для стран ЕС в целом он составляет 92%, для Японии – 94%. У США предполагалось 93%, однако эта страна отказалась участвовать в Протоколе, поскольку снижение выбросов углекислого газа означает понижение уровня выработки электроэнергии и, следовательно, стагнацию промышленности. 23 октября 2004 Государственная Дума России приняла решение о ратификации *Киотского Протокола*.

К загрязнению регионального масштаба относятся многие отходы промышленных предприятий и транспорта. В первую очередь, это касается диоксида серы. Он вызывает образование кислотных дождей, поражающих организмы растений и животных и вызывающих заболевания населения. Техногенные оксиды серы распределяются неравномерно и наносят ущерб отдельным районам. За счет переноса воздушных масс они зачастую пересекают границы государств и оказываются на территориях, удаленных от промышленных центров.

В крупных городах и промышленных центрах воздух, наряду с оксидами углерода и серы, часто загрязнен оксидами азота и твердыми частицами, выбрасываемыми автомобильными двигателями и дымовыми трубами. Нередко наблюдается образование смога. Хотя эти загрязнения носят локальный характер, они затрагивают многих людей, компактно проживающих на таких территориях. Кроме того, наносится ущерб окружающей природе.

Одним из основных загрязнителей окружающей среды является сельскохозяйственное производство. В систему круговорота химических элементов искусственно вводятся значительные массы азота, калия, фосфора в виде минеральных удобрений. Их избыток, не усвоенный растениями, активно вовлекается в водную миграцию. Накопление соединений азота и фосфора в природных водоемах вызывает усиленный рост водной растительности, зарастание водоемов и загрязнение их мертвыми растительными остатками и продуктами разложения. Кроме того, аномально высокое содержание растворимых соединений азота в почве влечет за собой повышение концентрации этого элемента в сельскохозяйственных продуктах питания и питьевой воде. Это может вызвать серьезные заболевания людей.

В качестве примера, показывающего изменения структуры биологического круговорота в результате деятельности человека, можно рассмотреть данные для лесной зоны европейской части России (таблица). В доисторические времена вся эта территория была покрыта лесами, сейчас их площадь уменьшилась почти вдвое. Их место заняли поля, луга, пастбища, а также города, поселки, транспортные магистрали. Уменьшение общей массы некоторых элементов за счет общего уменьшения массы зеленых растений компенсируется внесением удобрений, которое вовлекает в биологическую миграцию значительно больше азота, фосфора и калия, чем естественная растительность. Вырубка леса и распашка почв способствуют усилению водной миграции. Таким образом, существенно увеличивается содержание соединений некоторых элементов (азота, калия, кальция) в природных водах.

Таблица 3. Миграция элементов в лесной зоне европейской части России (млн. т в год) в доисторический период (на сером фоне) и в настоящее время (на белом фоне)

	Азот		Фосфор		Калий		Кальций		Сера	
Атмосферные осадки	0,9	0,9	0,03	0,03	1,1	1,1	1,5	1,5	2,6	2,6
Биологический круговорот	21,1	20,6	2,9	2,4	5,5	9,9	9,2	8,1	1,5	1,5
Поступления с удобрениями	0	0,6	0	0,18	0	0,45	0	12,0	0	0,3
Вывоз урожая, рубка леса		11,3	0	1,1	0	4,5	0	5,3	0	0,6
Водный сток	0,8	1,21	0,17	0,17	2,0	6,1	7,3	16,6	5,4	4,6

Природные воды могут загрязняться пестицидами и диоксинами, а также нефтью. Продукты разложения нефти токсичны, а нефтяная пленка, изолирующая воду от воздуха, приводит к гибели живых организмов (в первую очередь, планктона) в воде.

Помимо накопления в почве токсичных и вредных веществ в результате деятельности человека, ущерб землям наносится за счет захоронения и свалок промышленных и бытовых отходов.

Основными мерами борьбы с загрязнением атмосферы являются: строгий контроль выбросов вредных веществ. Нужно заменять токсичные исходные продукты на нетоксичные, переходить на замкнутые циклы, совершенствовать методы газоочистки и пылеулавливания. Большое значение имеет оптимизация размещения предприятий для уменьшения выбросов транспорта, а также грамотное применение экономических санкций.

Большую роль в защите окружающей среды от химических загрязнений начинает играть международное сотрудничество. В 1970-е в озоновом слое, защищающем нашу планету от опасного действия ультрафиолетового излучения Солнца, было обнаружено снижение концентрации O_3 . В 1974 установили, что озон разрушается под действием атомарного хлора. Одним из основных источников хлора, попадающего в атмосферу, являются хлорфторпроизводные углеводородов (фреоны, хладоны), используемые в аэрозольных баллонах, холодильниках и кондиционерах. Разрушение озонового слоя происходит, возможно, не только под действием этих веществ. Тем не менее, были предприняты меры по уменьшению их производства и использования. В 1985 многие страны договорились о защите озонового слоя. Обмен информацией и совместные исследования изменений концентрации атмосферного озона продолжаются.

Проведение мероприятий, предупреждающих попадание загрязняющих веществ в водоемы, включает установление прибрежных защитных полос и водоохранных зон, отказ от ядовитых хлорсодержащих пестицидов, уменьшение сбросов промышленных предприятий за счет применения замкнутых циклов. Снижение опасности загрязнения нефтью возможно путем повышения надежности танкеров.

Для предотвращения загрязнения поверхности Земли нужны предупредительные меры – не допускать засорения почв промышленными и бытовыми сточными водами, твердыми бытовыми и промышленными отходами, нужна санитарная очистка почвы и территории населенных мест, где такие нарушения были выявлены.

Наилучшим решением проблемы загрязнения окружающей среды были бы безотходные производства, не имеющие сточных вод, газовых выбросов и твердых отходов. Однако безотходное производство сегодня и в обозримом будущем принципиально невозможно, для его реализации нужно создать единую для всей планеты циклическую си-

стему потоков вещества и энергии. Если потери вещества, хотя бы теоретически, все же можно предотвратить, то экологические проблемы энергетики все равно останутся. Теплового загрязнения нельзя избежать в принципе, а так называемые экологически чистые источники энергии, например ветряные электростанции, все равно наносят ущерб окружающей среде.

Пока единственным путем существенного уменьшения загрязнения окружающей среды являются малоотходные технологии. В настоящее время создаются малоотходные производства, в которых выбросы вредных веществ не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК), а отходы не приводят к необратимым изменениям природы. Используется комплексная переработка сырья, совмещение нескольких производств, применение твердых отходов для изготовления строительных материалов.

Создаются новые технологии и материалы, экологически чистые виды топлива, новые источники энергии, снижающие загрязнение окружающей среды.

ЭКОАНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ

В условиях ускоренного научно-технического развития и бурного роста промышленного производства охрана окружающей среды стала одной из важнейших проблем современности, решение которой неразрывно связано с охраной здоровья нынешнего и будущего поколений людей. Это вызвано тем, что по мере развития производительных сил общества, роста масштабов использования природных ресурсов происходит все большее загрязнение окружающей среды отходами производства, ухудшается качество среды обитания человека и других живых организмов.

На современном этапе забота о сохранении природы заключается не только в разработке и соблюдении законодательств об охране Земли и ее недр, лесов и вод, атмосферного воздуха, животного и растительного мира, но и в познании закономерностей причинно-следственных связей между различными видами человеческой деятельности и изменениями, происходящими в природной среде.

Поскольку любые изменения в окружающей среде являются отражением изменения направленности протекающих в ней химических и химико-биологических процессов, познание закономерностей природных процессов и управление уровнем воздействия на них со стороны человека служит одной из приоритетных задач химии.

Одна из особенностей ситуации на сегодняшний день заключается в том, что изменения в окружающей среде опережают темпы развития методов контроля и прогнози-

вания ее состояния. Пока человек лишь констатирует неблагоприятные экологические явления и не может их предотвратить. Необходим качественно новый подход к описанию состояния окружающей среды как динамической химико-биологической системы.

Научные исследования в области охраны окружающей среды должны быть сориентированы на снижение возможных отрицательных последствий того или иного вида хозяйственной деятельности, на разработку эффективных методов очистки газовых выбросов и сточных вод, на обоснование норм допустимых воздействий на природные экосистемы.

Необходимы данные о том, как ведут себя, какие испытывают превращения, к каким последствиям приводят те или иные химические вещества, попадающие в биосферу. От констатации происходящих в природе изменений необходимо переходить к их прогнозированию и управлению качеством среды обитания. При этом традиционные методы физико-химического и биологического анализов служат подспорьем в оценке состояния и динамических характеристик природных экосистем.

В этой ситуации возрастает природоохранная роль химии. Связано это с необходимостью создания экологически чистых химических производств и использования достижений химии для решения проблем очистки сточных вод и газовых выбросов, утилизации и переработки отходов, с применением методов физической химии и химической кинетики для оценки уровня загрязнений и допустимых нагрузок на природные объекты по химически загрязняющим веществам.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что в основе процессов жизнедеятельности, как и в основе изменения химического состава окружающей среды, лежит химический акт, представляющий собой превращение исходных веществ в продукты трансформации. Любой химико-биологический процесс представляет собой совокупность химических актов, определяющих механизмы процессов. Соответственно для описания и управления динамически равновесным состоянием экосистем в условиях возрастающих масштабов человеческой деятельности необходимо знание химических механизмов взаимодействия между человеком, средой обитания и отдельными экологическими подсистемами.

Биологический аспект такого взаимодействия находится в ведении *химической экологии* – “ науки о химических взаимодействиях между живыми организмами или между живой и неживой природой ” (Барбье). Химический аспект касается в основном качественного и количественного состава химических загрязнений и их превращений в окружающей среде. Эти вопросы находятся в компетенции *экологической химии* .

Диагноз и лечение болезни любого живого организма должны опираться на определенную систему наблюдений и средств контроля параметров, отражающих состояние

организма, развитие болезни и эффективность мер по ее излечению. Точно так же и состояние окружающей среды должно характеризоваться определенным набором параметров, методологией "лечения" и прогнозирования исхода экологических "заболеваний". Для профилактики "заболеваний" необходимы постоянная диагностика и регулирование состояния окружающей среды.

Состояние биосферы, меняющееся под влиянием естественных причин, как правило, вскоре возвращается к исходному. Перепады температуры и давления, сезонное изменение биомассы растений и животных – это естественные вариации в состоянии биосферы, тогда как средние ее характеристики (климат, круговорот воды и других веществ, глобальная продуктивность живой природы и т.д.) могут заметно измениться лишь за тысячи и миллионы лет.

В противоположность этому перемены в биосфере, вызываемые деятельностью человека (антропогенные изменения), идут чрезвычайно быстро.

Изменения в природе контролируют и изучают многочисленные службы: гидрометеорологическая, сейсмическая, ионосферная, гравиметрическая, магнитометрическая и др. Но они не ставят своей основной целью выделение антропогенных сдвигов в природе на фоне естественных вариаций. Поэтому и появилась потребность в специальных наблюдениях за изменениями в окружающей среде, вызванных деятельностью человека.

Мониторинг – наблюдение, оценка и прогноз состояния окружающей среды в связи с хозяйственной деятельностью человека.

Можно выделить следующие уровни мониторинга:

1. Глобальный биосферный мониторинг
2. Геосистемный региональный или природохозяйственный мониторинг
3. Локальный биоэкологический или санитарно-гигиенический мониторинг

Для определения оптимального фонового уровня загрязнений объектов окружающей среды и отслеживания динамики процессов загрязнения и реабилитации территорий необходим некий "стандарт" пригодной для жизни человека среды. Такими стандартами являются биосферные заповедники, национальные парки и т.п. Блок-схема мониторинга может быть представлена в следующем виде:



Важнейший элемент мониторинга – оценка состояния природной среды. Этапами этой оценки являются выбор показателей и характеристик объектов окружающей среды и их непосредственное измерение. Набор параметров должен отвечать на вопрос, каково состояние природной среды.

Построение прогноза подразумевает знание закономерностей уровня загрязнения и состояния объектов природной среды, наличие соответствующих моделей и возможностей численного расчета.

В настоящее время в мире развита густая сеть станций наблюдения за состоянием окружающей среды. Например, в США наблюдение только за состоянием водных объектов ведется на 10 000 станциях.

В системе мониторинга различают три уровня: санитарно-токсикологический, экологический и биосферный мониторинг.

Санитарно-токсикологический – наблюдение за состоянием окружающей среды, степенью загрязнения природных объектов вредными веществами, за влиянием этих загрязнений на человека, животный и растительный мир, за наличием в окружающей среде аллергенов, патогенных микроорганизмов, пыли т.д., за содержанием в атмосфере оксидов азота и серы, СО, тяжелых металлов, за качеством водных объектов, степенью их загрязнения органическими веществами, нефтепродуктами и минеральными солями.

Экологический мониторинг – наблюдение за изменениями в экологических системах (биогеоценозы), природных комплексах, за их продуктивностью, а также динамикой запасов полезных ископаемых, водных, земельных и растительных ресурсов.

Поскольку природа едина и расчленить ее на живую и неживую составляющие можно лишь условно, экологический мониторинг как бы объединяет геофизический и биологический мониторинг и задача экологического мониторинга – обнаружение в экосистемах изменений антропогенного характера (на фоне естественных флуктуаций).

Биосферный мониторинг – наблюдения за глобально-фоновыми изменениями в природе: степенью радиации; наличием в атмосфере CO_2 , O_3 ; ее запыленностью; циркуляцией тепла; газовым обменом между океаном и воздушной оболочкой земли; мировой миграцией птиц, животных, растений и насекомых; погодно-климатическими изменениями на планете.

Фоновое глобальное состояние биосферы изучают на так называемых фоновых станциях, которые организованы в ряде стран на базе биосферных заповедников. Фоновое состояние среды в прошлом можно реконструировать с помощью анализа колец деревьев, газовых слоев ледников и донных отложений.

В настоящее время более или менее развита система санитарно-токсикологического мониторинга.

Важнейшей экологической характеристикой вещества, его экологической ПДК (предельно допустимой концентрацией) является пороговая концентрация, превышение которой приводит к отрицательным для экосистемы изменениям.

Наряду с величиной экологической ПДК важной характеристикой экосистемы служит ее ассимиляционная емкость в отношении данного загрязняющего вещества (ЗВ) или суммы веществ. Ассимиляционная емкость объекта окружающей среды – это максимальное количество ЗВ, которое может быть за единицу времени накоплено, разрушено, трансформировано или выведено за пределы экосистемы в результате совокупностей процессов самоочищения без нарушения ее нормального функционирования. Ассимиляционная емкость экосистемы определяет допустимый уровень антропогенных воздействий на фоне естественной изменчивости и в интервале допустимых колебаний параметров состояния системы.

Экологическое нормирование призвано ограничить антропогенные воздействия рамками экологических возможностей и нацелено на оптимизацию взаимодействия человека с природой, на оптимизацию использования возобновляемых природных ресурсов.

В общем виде экологическое нормирование предусматривает:

1. Учет при оценке последствий антропогенного воздействия множественности путей загрязнения и самоочищения элементов биосферы.
2. Поиск “критических” звеньев биосферы и факторов воздействия.

3. Развитие подходов к нормированию воздействий с учетом их влияния на природные экосистемы.

Основным критерием при определении допустимой экологической нагрузки является отсутствие снижения продуктивности, стабильности и разнообразия экосистемы. Гибель отдельных организмов, особей в этом случае не представляется критической.

При нормировании антропогенных воздействий большое значение имеют приоритетные факторы и эффекты воздействия. Приоритетность с учетом экономических соображений определяет характер и срочность мероприятий по борьбе с негативными последствиями по их предотвращению.

Кроме того, при оценке адаптационных возможностей биосферы необходимо опираться на понятие устойчивости экосистемы, ее экологического резерва. Экологический резерв определяет возможную долю возобновляемых природных ресурсов, которая может быть изъята из биосферы (либо ее элемента) без нарушения основных свойств среды, за счет сосуществования многих популяций, жизнедеятельность которых находится во взаимосвязи и взаимодействии.

В основе мониторинга, таким образом, лежит система определения концентраций загрязняющих веществ в объектах окружающей среды - система эколого-аналитического контроля.

Индустриализация и урбанизация, особенно технологический прогресс и развитие агрохимического комплекса, и, как следствие, объективный процесс “химизации” среды обитания человека инициировали повышение значимости эколого-аналитического и санитарно-эпидемиологического контроля. Расширились не только номенклатуры объектов и круг определяемых в них компонентов. Резко увеличилось число микро- и макрокомпонентов, одновременно присутствующих в анализируемых пробах. В такой критической ситуации узкопрофильные методы и приборы, предназначенные для качественного и количественного анализа только отдельных конкретных веществ, бесперспективны: они или не обеспечивают требуемое качество результатов химического анализа вследствие их неселективности, или экономически нецелесообразны, поскольку требуется весьма широкая номенклатура методов и приборов и по этой причине резкое увеличение эксплуатационных затрат. Поэтому на передний план стали выходить многоцелевые методы и аналитические комплексы, позволяющие достоверно определять контролируемые вещества в многокомпонентных пробах. Современным аналитическим задачам присуща ярко выраженная тенденция к скоротечному снижению требуемых пределов обнаружения. Такая тенденция особенно проявляется в технологиях получения особо чистых веществ, полупроводниковых материалов, а также в эколого-аналитическом контроле содержания супертоксикан-

тов, таких как 2,3-7,8-диоксин, 3,4-бензпирен, нитрозоамин, некоторых видов пестицидов и др. В подобных аналитических задачах требуемые пределы обнаружения достигают значений пикограмм в литре либо в килограмме и ниже, что нередко находится далеко за принципиальными возможностями даже таких мощных и высокочувствительных методов как хромато-масс-спектрометрия и тем более методов молекулярной спектроскопии.

В качестве обязательного элемента эколого-аналитического комплекса, помимо пробоотборных устройств и развитой системы пробоподготовки, выступает система предварительного концентрирования определяемых компонентов, позволяющая выделять микрокомпоненты из образцов разнообразного состава.

Высокоинформативные многоцелевые методы химического анализа отличает сложный вид выходной информации, например, многолинейчатые спектры в атомно-эмиссионной спектроскопии, многомерные хроматограммы и масс-спектры и т.п. Отсюда очевидно, что обязательным элементом аналитической техники являются достаточно мощные вычислительные комплексы, в том числе и иерархически организованные. И сейчас для обработки аналитической информации применяются персональные ЭВМ, однако уровень формализации явно недостаточен для получения результата в виде, доступном любому пользователю. В идеале от ЭВМ требуется выходная информация в виде таблицы содержаний определяемых компонентов с обязательным указанием доверительного интервала, хранение и удобное пользование этой информацией.

Организация процесса аналитического контроля не выделяется в качестве отдельного раздела аналитической химии и, как правило, значимой проблемой аналитической химии не признается. Это объясняется тем, что обычно методология химического анализа строится как поиск оптимальных решений каждой аналитической задачи, взятой в отдельности (определение цинка, хрома, олова и меди в сточных водах, 3,4-бензпирена в присутствии ароматических и полиароматических углеводородов в воздушных средах и т.п.). На практике же в условиях, когда лаборатории эколого-аналитического контроля должны постоянно контролировать содержание сотни загрязнителей в разнородных объектах контроля, проблема системного выбора оптимальной номенклатуры и конфигурации аналитической техники и оптимальной организации "технологии" получения массивов результатов химического анализа разнообразных объектов окружающей среды вырастает в глобальную проблему. Ее классическое решение приводит прежде всего к крупным стартовым затратам на бессистемное приобретение аналитической техники, неоправданному увеличению персонала лаборатории и значительным эксплуатационным расходам. Поскольку в современном аналитическом контроле явной тенденцией является не децентрализация контроля по видам объектов и задачам анализа, а централизация контроля как в

лабораториях госконтрольных органов, так и на крупных предприятиях-природопользователях, аналитические комплексы ближайшего будущего должны обладать свойствами, позволяющими строить на их основе оптимальные системы химического анализа. В первую очередь к таким свойствам следует отнести многофункциональность и системную совместимость. Понятие многофункциональности удобнее всего пояснить на конкретных примерах. Так, ионохроматографический комплекс при введении в его состав специальных пробопреобразовательных устройств, количественно поглощающих определяемые вещества из газовой фазы, может успешно использоваться для определения кислых и основных газов в атмосфере. Аналогично спектрофотометр или спектрофлуориметр в заводском исполнении не позволяет анализировать газообразные среды. Введение же в его комплектность твердотельных газочувствительных элементов позволяет решать задачи контроля органических и неорганических загрязнителей в газовых средах.

Таким образом, эколого-аналитический комплекс имеет развитую и системно-организованную периферию, максимально расширяющую его аналитические возможности. Под системной организованностью следует понимать не только унифицированные интерфейсы компьютерной связи, позволяющие объединять аналитические комплексы в лабораторные и межлабораторные системы. Понятие системности здесь несет и достаточно глубокий химико-аналитический смысл, который состоит в том, что аналитические возможности этих комплексов должны взаимно перекрываться на достаточно больших массивах задач, т.е. анализ одного и того же образца можно проводить, как минимум, двумя независимыми методами, один из которых по уровню метрологического обеспечения является прецизионным. Тем самым осуществляется проверка правильности результатов химического анализа.

При организации санитарно- и эколого-аналитического контроля одним из деструктивных вопросов является приборный состав и соотношение передвижных и стационарных аналитических комплексов. Естественно, существуют объекты и круг определяемых загрязнителей, специфика которых безальтернативно требует использования аналитических комплексов, монтируемых на транспортных средствах: машинах, вертолетах и т. п. Однако считать подвижные комплексы основным или хотя бы равнозначным направлением развития аналитической техники было бы ошибочно. Главным объективным аргументом в пользу стационарных комплексов является достаточно длительное время, затрачиваемое на анализ, включая пробоподготовку. Как правило, для обследования объектов окружающей среды в среднем требуется не менее двух-трех суток. В этой ситуации существенно более рациональной является система организации анализа типа: автоматизированный пробоотбор на объектах контроля и анализ в стационарной лаборатории с помо-

цью компьютеризированных аналитических комплексов. Такая методология признана во всем мире как наиболее реальная. Конечно, при контроле узкого круга компонентов загрязнителей перспективны передвижные и стационарные посты, оснащенные, например, химическими сенсорами. Исходя из этого, аналитический комплекс должен иметь в своем составе развитую, унифицированную для всех комплексов систему автономных и стандартизированных пробоотборных устройств жидких, твердых и газообразных сред. Таким образом, к организации аналитического контроля относится задача создания комплекта устройств, обеспечивающих, помимо отбора проб, их транспортировку, преобразование фаз и введение в прибор без перегрузок, т.е. в той “таре”, в которой они были отобраны.

Рассматривая постоянное увеличение объема аналитических работ как прямое следствие объективной химизации среды обитания человека, можно сделать следующий вывод: требуется принятие мер по существенному снижению трудозатрат на получение единичного результата химического анализа. Значительные резервы для этого существуют, так как при использовании компьютеризированной аналитической техники активные трудозатраты производятся только на этапе ввода проб или чувствительных элементов в измерительный прибор, после же этого оператор выполняет чисто наблюдательную функцию. Поэтому для снижения трудозатрат необходимы автосамплеры, эскалаторы подачи проб и другие машиноуправляемые роботизированные устройства. Расчеты трудозатрат показывают, что внедрение таких устройств в совокупности с самодиагностикой приборов позволяет одному оператору обслуживать одновременно до пяти разнотипных и до двенадцати однотипных приборных комплексов.

Концепция эколого-аналитического контроля (ЭАК)

Рассмотрим концепцию эколого-аналитического контроля, принятую в качестве программы в Российской Федерации.

ЭАК - это система мероприятий по выявлению и оценке источников и уровня загрязненности природных объектов вредными веществами в результате сбросов либо выбросов этих веществ в окружающую среду природопользователями, также вследствие естественного образования и накопления в объектах окружающей среды, в том числе за счет химической и биохимической трансформации природных и техногенных веществ в соединения с вредными свойствами.

Можно выделить три основные функции ЭАК:

- получение первичной информации о содержании вредных веществ в окружающей среде и принятие на основе этой информации решений по предотвращению дальнейшего

поступления этих веществ в воду, воздух, почву, донные отложения, растительный покров или о необходимости очистки этих объектов от уже накопленных загрязнителей;

- получение вторичной информации об эффективности мероприятий, осуществленных на основе первичной информации;

- формирование исходных данных для принятия решений экономического, правового, социального и экологического характера по отношению к природопользователям, районам и регионам со сложной экологической обстановкой, включая оценку недвижимости при ее приватизации или продаже.

Во многих случаях ЭАК не ограничивается решением традиционных аналитических задач (чем, что и в какой мере загрязнено) и должен дать информацию для ответа на не менее важные вопросы об источниках и путях попадания загрязнителей в окружающую среду (откуда и как). В промежутке между стадиями получения первичной и вторичной информации ЭАК является своеобразным индикатором динамики изменения воздействий источников загрязнения, т.е. позволяет судить об ухудшении или улучшении экологической обстановки на каждом конкретном объекте ЭАК.

На территории Российской Федерации эколого-аналитический контроль осуществляют государственные контрольные органы и специальные службы предприятий-природопользователей. Кроме них, в ЭАК часто бывают зарегистрированы аналитические лаборатории или центры, выполняющие на договорных (контрактных) основах анализы для госконтрольных органов и природопользователей.

Организация и обеспечение ЭАК требуют решения комплекса взаимосвязанных проблем, которые образуют приведенную ниже единую систему:

Нормативно-техническое обеспечение и правовая регламентация
Контролируемые объекты и компоненты
Методическое обеспечение
Аппаратурное обеспечение
Метрологическое обеспечение
Обеспечение качества химической информации
Кадровое обеспечение

Нормативно-техническое обеспечение и правовая регламентация системы ЭАК

С точки зрения природоохранительного законодательства, регламентация отдельных стадий ЭАК (пробоотбор, консервация и транспортировка проб, пробоподготовка, выполнение определения, обработка и выдача результатов анализа, их введение в память ЭВМ, а также нормирование номенклатуры подлежащих определению вредных, в том числе токсичных, веществ и уровни их предельно допустимых концентраций) является юридической базой для обоснования требований к методикам анализа, аналитическим приборам и другим средствам измерения, которые следует применять для ЭАК.

В нормативно-техническое обеспечение включают также документы, регламентирующие алгоритмы проведения анализа. Существует множество нормативно-технических документов (НТД) по самым различным аспектам ЭАК, но одни из них действуют в системе Роскомгидромета, другие - в системе Комитета по водным ресурсам, третьи - в Комитете по лесу, четвертые действуют только в рамках Россанэпиднадзора и т.д. Такой ведомственный ералаш крайне отрицательно влияет на выработку общих принципов ЭАК. Поэтому необходима разработка единых НТД, регламентирующих требования к организации и проведению ЭАК с учетом его специфики для каждой из связанных с ним структур.

Контролируемые объекты и компоненты

В сферу эколого-аналитического контроля входят следующие контролируемые объекты:

- воды - пресные, поверхностные, морские, подземные, атмосферные осадки, талые, сточные;
- воздух - атмосферный, природных заповедников (фон), городов и промышленных зон, рабочей зоны;
- почвы (в аспекте загрязнения);
- донные отложения (в том же аспекте);
- растения, пища и корма, животные ткани (в том же аспекте).

В сферу объектов ЭАК при необходимости могут быть включены и другие объекты, представляющие по той или иной причине опасность для окружающей среды, в частности, полупродукты и готовая продукция нефтехимической, химической, фармацевтической и микробиологической промышленности.

В настоящее время, согласно данным ВОЗ, в промышленности используется до 500 тыс. соединений (в основном органических), из которых более 40 тыс. являются вредными для здоровья человека и около 12 тыс. токсичными. В России в почву вносят около 200 различных пестицидов, для большинства из которых (около 70%) ПДК не определены, в то время, как только 10% из них являются нетоксичными. Многие соединения, попадая в окружающую среду, превращаются под ее воздействием в более токсичные соединения, чем исходные (при хлорировании воды в процессе пробоподготовки, в процессе отбеливания бумажной массы хлором, под воздействием бактерий). В нашей стране установлены ПДК примерно для 1400 соединений в воде, более 1300 соединений в воздухе и свыше 200 - в почвах, т.е. только для незначительной части соединений, поступающих в окружающую среду.

Расчленим массив нормируемых загрязнителей на несколько групп по критериям требуемых пределов обнаружения и степени распространенности.

Все многообразие веществ - загрязнителей по вышеуказанным критериям может быть разбито на три весьма не равные в количественном отношении основные группы. К первой группе предлагается отнести такие вещества, как кислород, озон, оксиды углерода, азота, серы, аммиак, галогены и соответствующие им кислоты (ионы), а также природные фульво- и гуминовые кислоты, низкомолекулярные углеводороды (компоненты природных газов и топлив). Сюда же следует включить металлы гальванических производств и их водонерастворимые соединения. Эта группа веществ характеризуется наиболее широкой распространенностью и достаточно легко достигаемыми требуемыми пределами обнаружения.

Ко второй группе следует отнести все многообразие органических загрязнителей, как правило, первой и второй групп опасности, а также тяжелые металлы и их водорастворимые соединения. Кроме того, в данной группе целесообразно разместить токсиканты (цианиды, арсин, фосфин, силаны и их производные). Это самая многочисленная группа веществ-загрязнителей, объединяющая в зависимости от специфики промышленного региона от 60 до 80% контролируемых веществ. Диапазон нормируемых содержаний веществ данной группы составляет от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-7}$ мг/л. Важной аналитической характеристикой, отличающей задачи определения этих веществ от веществ первой группы, является требование высокой селективности при малых пределах обнаружения, так как определяемые соединения находятся в сложных многокомпонентных смесях.

Эта особенность в еще большей, подчас критической, степени относится к веществам третьей группы, к которой предлагается отнести так называемые супертоксиканты (фосфорорганические соединения, диоксины, 3,4-бензпирен, нитрозамины и др.)

Для общности рассмотрения в эту же группу следует включить и неизвестные ныне супертоксиканты, образующиеся в результате медленных химических взаимодействий техногенных отходов с компонентами окружающей среды. Действительно, если фотосинтез приводит к образованию нитрозалинов, можно с высокой степенью вероятности предположить существование и возникновение еще более опасных веществ, грозящих экологическими катастрофами. Требуемые пределы обнаружения веществ этой группы находятся в диапазоне от $1 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-10}$ мг/л. Аналитические задачи для веществ данной группы разрешаются только на основе сочетания концентрирования с высокоинформативной аналитической техникой типа хромато-масс- и хромато-ИК-Фурье-спектрометрии.

Следует отметить один существенный недостаток принятого подхода к эколого-аналитическому контролю, который является общим для России и других стран. Такой подход состоит в установлении ПДК соединений, разработке методик, обеспечивающих определение этих соединений в объектах окружающей среды на уровне ПДК и ниже, и их утверждение в соответствующих ведомствах. Очевидны недостатки существующего подхода: колоссальные затраты времени и высококвалифицированного труда и, как следствие, огромные экономические потери. К тому же такой подход не охватывает контроль содержания неизвестных, ненормируемых веществ и их влияния на экологическую обстановку.

Одним из ключевых вопросов ЭАК является обнаружение и идентификация неизвестных веществ, определение их на уровне 10^{-10} - 10^{-12} г и ниже. При этом идентификацию проводят в присутствии большого числа соединений. Проблема осложняется и тем, что отсутствует какая-либо предварительная информация об исследуемых соединениях либо последние вообще неизвестны. Достоверность идентификации и определения неизвестных веществ должна быть очень высокой: многие вопросы экологической безопасности базируются на достоверности ЭАК.

Методическое обеспечение системы ЭАК

Эффективность и достоверность методик и методического обеспечения системы ЭАК определяются прежде всего пробоотбором и пробоподготовкой.

Важно отметить, что технические средства, используемые при отборе проб, пробоподготовке и определении в полевых условиях, должны функционировать автономно в широком диапазоне температур (от -50 до +50) и влажности (до 100%), выдерживая агрессивные воздействия сред, в которых и с которыми они работают. В этой связи весьма пер-

спективны химические и физические сенсоры - эффективные средства оперативного контроля газовых и жидких сред на содержание нормируемых микрокомпонентов, в которых пробоотбор и несложная пробоподготовка совмещены с собственно определением. Они особенно удобны для оснащения постов эколого-аналитического контроля, а также создания полифункциональных автоматизированных систем контроля состояния воздушного бассейна, воздушных выбросов предприятий, природных и сточных вод

Технику пробоотбора, в том числе автоматизированного, следует строить в зависимости от фазового состояния объекта и специфики определяемых объектов, применяя при необходимости консервацию образцов. Следует отдавать предпочтение совмещению пробоотбора с концентрированием и выделением определяемых микрокомпонентов. Пробоотборные устройства должны быть рассчитаны на автономный режим работы.

Разработано огромное количество методик анализа объектов природной окружающей среды, но только часть из них может быть применена в системе ЭАК, поскольку по своим показателям эффективности, включающим аналитические и метрологические характеристики, они не отвечают требованиям ЭАК. К тому же большая группа методик реализуется на уникальном аналитическом оборудовании, которое в России имеется в единичных экземплярах (например хромато-масс-спектрометры высокого разрешения). Поэтому методики, реализуемые с использованием этих приборов, не могут претендовать на место в ЭАК и их следует использовать при решении узких конкретных задач. Но даже после отбраковки методик по показателям эффективности и доступности применяемого оборудования методическое обеспечение ЭАК, на первый взгляд, выглядит вполне удовлетворительным. Действительно, методики постоянно разрабатываются, совершенствуются, реализуются. Практически для большинства нормируемых показателей можно подобрать подходящую методику контроля. На самом же деле ситуация более сложная. Прежде всего отметим, что документы, регламентирующие методики анализа объектов окружающей среды, должны иметь определенный нормативно-технический и правовой статус: такие методики должны быть аттестованы и введены в действие. Пока подавляющее большинство методик, применяемых для ЭАК, не аттестовано, не говоря уже о более высоком уровне их стандартизации. Следовательно, такое методическое обеспечение не удовлетворительно как с позиций госконтрольных органов, для которых оно практически отсутствует, так и природопользователей, поскольку проведение ЭАК по неаттестованным методикам сразу же ставит под сомнение достоверность результатов анализов. По таким результатам не могут быть приняты ни санкции, ни управленческие решения. Поэтому наряду с разработкой новых методик ЭАК необходимо широкое развитие работ по аттестации уже существующих, а для вновь разрабатываемых или пересматриваемых ме-

тодик ЭАК аттестацию следует проводить в процессе их разработки или пересмотра, тем самым сокращая время, необходимое для введения методики в действие.

Еще одним из важнейших направлений работы в области методического обеспечения ЭАК является унификация методик.

Аппаратурное обеспечение системы ЭАК

Приборы ЭАК, разумеется, входят в общую совокупность аналитических приборов, но с учетом специфики требований ЭАК необходимо сделать ряд пояснений.

Для приборов ЭАК принципиальным является вопрос обоснования требований к условиям их эксплуатации. Все приборы ЭАК – выпускаемые или разрабатываемые – можно разделить на две группы: приборы общего назначения и специализированные приборы.

В первую группу входят приборы, применение которых не жестко связано со спецификой контролируемого объекта или определяемого показателя, т.е. возможно их использование для большого числа методик анализа, охватывающих контроль разнотипных объектов и разнообразных показателей. К таким приборам относится большинство хроматографов, спектрофотометров, спектрографов, спектрофлуориметров, полярографов и масс-спектрометров. До недавнего времени концепция аналитического приборостроения основывалась именно на создании данной группы приборов, которые в равной степени предназначались для аналитического контроля в различных областях.

Вторая группа включает приборы, предназначенные для определения конкретного компонента в конкретном объекте контроля (пример – анализатор SO_2 в промышленных выбросах или анализатор нефтепродуктов в водах).

Приборы обеих групп могут применяться в ЭАК при наличии обязательного методического обеспечения.

С позиций ЭАК специализированные приборы предпочтительнее приборов общего назначения, поскольку они реализуют ограниченное число методик и обычно разрабатываются для определения конкретных компонентов в конкретном объекте анализа. Однако если принять концепцию исключительного использования специализированных приборов в ЭАК, то необходимо расширить номенклатуру определяемых одним типом прибора веществ-загрязнителей и тем самым усложнить конструкцию, т.е. по существу переходить к приборам общего назначения или создавать огромное количество специализированных приборов, способных в совокупности обеспечить определение подлежащих ЭАК веществ в данном объекте, что экономически невыгодно. Отметим, что специализированные при-

боры удобны для стационарных постов контроля, передвижных лабораторий и природопользователей с загрязнителями не слишком широкого, но устоявшегося круга.

В целом же приборы общего назначения остаются в аппаратном обеспечении ЭАК, однако они должны поставляться только вместе с необходимым пользователю методическим обеспечением. Например, атомно-адсорбционный и атомно-флуоресцентный спектрометр "Квант" поставляется в госконтрольные службы Минэкологии РФ вместе с унифицированной методикой определения тяжелых металлов в природных, питьевых и сточных водах.

Таким образом, понятие "специализированный прибор" ЭАК распространяется фактически и на приборы общего назначения. Отличие состоит в том, что методическое обеспечение приборов общего назначения "открыто" для пользователя и разработчика и при необходимости может пополняться и совершенствоваться.

Актуальным направлением аналитического приборостроения является разработка многоцелевых приборных комплексов, которые построены по блочно-модульному принципу и позволяют определить разнообразные макро- и микрокомпоненты в разнообразных объектах.

Метрологическое обеспечение ЭАК

Под метрологическим обеспечением понимают установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности результатов измерений. Блок метрологического обеспечения неразрывно связан с тремя ранее рассмотренными блоками, а решение проблем в его рамках - прежде всего с методологией получения оценок требуемой и реально достигаемой точности результатов ЭАК, контролем качества этих результатов (quality control) и обеспечением (гарантией) качества (quality assurance) аналитической информации. В блоке метрологического обеспечения ЭАК целесообразно выделить следующие основные направления:

- развитие научных основ метрологии ЭАК;
- разработка и внедрение нормативно-технической документации, регламентирующей контролируемые составляющие погрешностей результатов анализа, способы их оценок и контроля, требования к методикам ЭАК и средствам метрологического обеспечения;
- разработка и внедрение средств метрологического обеспечения, включая разработку стандартных образцов (СО) состава и свойств, аттестованные смеси (прежде всего газовые), стандартные растворы и др.

Наибольшие осложнения вызывает решение проблем по разработке и порядку применения СО состава и свойств объектов окружающей среды. Дискуссии о возможности создания таких СО ведутся постоянно. Реально мы располагаем СО состава воды, почв, а также многих неорганических и органических веществ, например пестицидов, которые используют для градуировки приборов и контроля точности результатов ЭАК. Существует еще одна важная проблема, которая не выходит за рамки метрологического обеспечения ЭАК, а скорее аккумулирует последнюю. Речь идет об обеспечении качества химической информации.

Обеспечение качества химической информации

При ЭАК получаемая информация служит фундаментом для принятия принципиальных решений и предписывания правил. Качество аналитической информации определяется степенью ее достоверности. Система обеспечения качества, состоящая из подсистем аттестации, контроля и оценки качества, с одной стороны, является надежным вспомогательным средством производства информации и, с другой - доказательством надежности. Работы по обеспечению качества результатов химического анализа в области ЭАК носят узковедомственный характер и не распространяются на всю систему ЭАК, поскольку контроль качества данных природопользователей вообще не проводится. Таким образом, необходимо создание общей системы обеспечения качества аналитических работ, что должно быть регламентировано соответствующим НТД.

Одной из общепринятых форм комплексной оценки ЭАК аналитических служб и лабораторий, официальным признанием в этой области должна стать их аккредитация на государственном или аттестация на ведомственном уровне.

Хроматографические методы в анализе объектов окружающей среды

Наиболее широко в системе методов и средств измерения ЭАК представлены хроматографические методы анализа. Это объясняется тем, что при анализе многокомпонентных систем с низким содержанием определяемых веществ на уровне ppm и ppb у хроматографических методов нет альтернативы. Немаловажным фактором является в современных условиях и очень низкая цена анализа в расчете на один компонент, т.к. одновременно определяется до 100 веществ за один ввод пробы. Кроме того, хроматографический анализ легко автоматизируется по линии ввод пробы - условия разделения - обработ-

ка аналитического сигнала - получение и хранение аналитической информации. При этом одновременно проводится идентификация компонентов смеси и их количественное определение. Сочетание хроматографического разделения с масс-спектрометрическим детектированием позволяет, например, определять до 50 000 органических соединений-загрязнителей в воздухе. Использование атомно-эмиссионного детектора в ВЭЖХ открывают перспективу определения на уровне ПДК тяжелых металлов-токсикантов (S n , Hg, Pb) в водах, почвах, донных отложениях. Широкие возможности в анализе загрязнений объектов окружающей среды представляют различные варианты многомерной хроматографии GC-GC, LC-GC, LC-LC и другие.

Большой прогресс достигнут в создании методов и приборов Hand GC - переносных портативных хроматографов, позволяющих определять до 40 органических загрязнителей воздуха (Voyager, США).

Анализу вод хроматографическими методами посвящено за последние 10 лет: ВЭЖХ - 1 400 публикаций; ГХ - 3 650 публикаций. Последние нормативные документы - санитарные правила и нормы (СанПиН) для питьевой воды - предполагают определение 763 органических веществ: из них галогенсодержащих - 74, азотсодержащих - 198, фосфорсодержащих - 97, кислородосодержащих - 163, серосодержащих - 56, гетероциклических - 87, элементоорганических - 20.

В каждом регионе утверждается разный набор контролируемых в питьевой воде загрязнений в зависимости от специфики предприятий, работающих на его территории.