

ВВЕДЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТОКСИЧНОСТИ ВЕЩЕСТВ В ОБЩЕЙ ШКОЛЕ

Кучер Е.Н.¹, Наговицына О.А.¹, Миндлина Т.Б.¹, Ананьева Е.А.¹, Сергиевский В.В.¹

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва (115409, г. Москва, Каширское ш., 31), e-mail: tb_mind@mail.ru

Обсуждается актуальная проблема междисциплинарного изложения раздела курса химии при модернизации блока естественно-научных дисциплин. Предлагается включить в базовые школьные курсы химии и в общие курсы химии для бакалавров и магистров раздел, посвященный взаимодействию химических веществ с биологическими индивидами. Введено обобщенное понятие «химико-биологическая система», согласно которому организм рассматривается как «черный ящик». Систематизированы сведения о разных воздействиях веществ (органические соединения и ионы металлов) на биологические системы. Особое внимание уделено обоснованию тезиса о том, что токсические свойства вещества в общем случае трудно предсказать только при рассмотрении химического состава и строения вещества. Для минимизации негативного воздействия веществ на организм необходимо формирование «уважительного» отношения к веществу, ознакомление персонала с характеристиками токсичности веществ, например ПДК, и инструкциями по технике безопасности.

Ключевые слова: образование, междисциплинарность, вещество, биологическая система, химико-биологическая система, токсичность, предельно допустимая концентрация.

ВВЕДЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТОКСИЧНОСТИ ВЕЩЕСТВ В ОБЩЕЙ ШКОЛЕ

Kucher E.N.¹, Nagovitsyna O.A.¹, Mindlina T.B.¹, Ananyeva E.A.¹, Sergievskii V.V.¹

¹ Federal state budgetary educational establishment of the higher professional education «National research nuclear university «МЕРФИ», Moscow (115409, Moscow, Kashirskoe sh., 31), e-mail: tb_mind@mail.ru

The actual problem of an interdisciplinary statement of the unit of a rate of chemistry is discussed at modernization of the block of natural-science disciplines. It is offered to include in base school rates of chemistry and in the general rates of chemistry for bachelors and masters the section devoted to interaction of chemical substances with biological individuals. The generalized concept chemical and biological system according to which the organism is considered as « a black box » is entered. Data on different influences of substances (organic compounds and ions of metals) on biological systems are systematized. The special attention is given to a substantiation of the thesis that toxic properties of substance generally are difficult for predicting only by consideration of a chemical compound and a structure of substance. For minimization of negative influence of substances on an organism formation of the "valid" relation to substance, acquaintance of the personnel with characteristics of toxicity of substances, for example, maximum concentration limit, and safety rules is necessary.

Key words: education, substance, biological system, chemical and biological system, toxicity.

Введение. Человек живет в мире веществ, представляющих собой химические соединения различной степени сложности. Существование животного мира и окружающего вещества во времени - бесконечная цепь химических превращений, приводящая в равной степени как к образованию геологических пород, так и к возникновению в результате мутаций новых видов биологических организмов. При этом большинство макроэлементов, входящих в состав организма человека, животных и растений, являются наиболее распространенными в литосфере Земли, что отвечает антропному принципу.

Переработка вещества в процессе деятельности человека обеспечивает технический прогресс, повышает качество жизни, но приводит к загрязнению биосферы соединениями практически всех элементов таблицы Д.И. Менделеева. Долгое время крупная химическая корпорация Дюпон использовала девиз «Лучшие товары для лучшей жизни». Не секрет, что рост

продолжительности жизни населения экономически развитых стран, например, обусловлен достижениями фармацевтики, создающей все новые поколения лекарственных препаратов. Более того, промышленное освоение новых химических технологий способствует росту экономики. Действительно, анализ литературы показывает, что свыше 40% патентов, выданных в различных странах мира, основано на создании новых химических соединений или использовании их свойств.

Создание инновационной экономики, основанной на знаниях, немислимо без освоения молодым поколением химии как фундаментальной и прикладной науки. Между тем в последние десятилетия хозяйственная деятельность людей привела к значительному загрязнению окружающей среды. В отечественных школьных программах по химии указано, что одной из целей изучения этого предмета является формирование навыков безопасного обращения с веществом. Эта цель не достигается. Вклад в загрязнение окружающей среды происходит в результате деятельности различных отраслей промышленности (энергетика, транспорт, сельское хозяйство и т.д.), использующих химические процессы. Дальнейшая модернизация системы образования предусматривает существенное сокращение в школьных программах объема фундаментальных дисциплин, включая химию. Следует ожидать нарастания экологической угрозы при реализации различных проектов. Поэтому школьным учителям и преподавателям вузов следует предпринять усилия по формированию у школьников и студентов уважительного отношения к веществу.

В предыдущей работе [6] обсуждены некоторые актуальные проблемы образования, оказывающие влияние на мотивацию к обучению. Имеется и другой класс проблем, отказ от решения которых снижает качество образования. К ним относятся, в частности, формирование и развитие различных фобий (хемофобия, радиофобия и др.). Создается нелепая ситуация, когда люди боятся химического загрязнения среды и отказываются даже от попыток понимания природы этого явления. Подходы к междисциплинарному формированию содержания образования, описанные в [3], могут быть использованы для компактного изложения в учебном процессе материалов о токсичности веществ и развития грамотного отношения к проблеме химического загрязнения окружающей среды. Целью настоящей работы является обсуждение тезисов лекций по химико-биологическим системам.

Биологические системы. Государственные образовательные стандарты предусматривают системное изложение материала по фундаментальным наукам. Анализ проблемы воздействия вещества на биологические системы имеет междисциплинарный характер. Поэтому, прежде всего, целесообразно напомнить школьникам и студентам, что любое живое существо вне зависимости от уровня сложности организма, а также сообщества живых существ различных видов являются биологическими системами. Все биологические системы облада-

ют целостностью - несводимостью свойств системы к сумме свойств ее элементов, резистентностью - относительной устойчивостью к воздействиям, а также гомеостазом – поддержанием ряда параметров системы на определенном уровне, отличном от уровня окружающей среды.

Совокупность всех химических процессов разложения и синтеза веществ, протекающих в организме и обеспечивающих его жизнедеятельность веществом, энергией и информацией, называют метаболизмом. В живых организмах одновременно реализуется большое число химических процессов. Так, только одна молекула фермента каждую секунду преобразует от 10^5 до 10^{15} молекул субстрата [1]. Роль отдельных веществ в метаболизме и передаче наследственной информации изучается на стыке биологии, медицины, химии, физики и экологии.

Наряду с высокой скоростью обмена веществ не менее важными характеристиками процессов метаболизма в организме являются их высокая селективность и строгая локализация. В основе избирательного распознавания на молекулярном уровне в живых системах лежит механизм комплементарности структуры и химической природы поверхности. На многочисленных примерах установлено, что небольшие изменения состава биологических молекул приводят к поразительному изменению их биологических свойств.

Например, молекулы тестостерона ($C_{19}H_{29}O_2$) (мужской половой гормон) и эстрадиола ($C_{18}H_{24}O_2$) (женский половой гормон) различаются, главным образом, по наличию у тестостерона дополнительно метильного радикала, а у эстрадиола – атома водорода, связанного с кислородом (рис. 1). Физиологическое же воздействие этих веществ на формирование и жизнедеятельность организма человека имеет очень широкий спектр: от особенностей мышления и психики до внешних половых признаков и реализации репродуктивных функций [5].

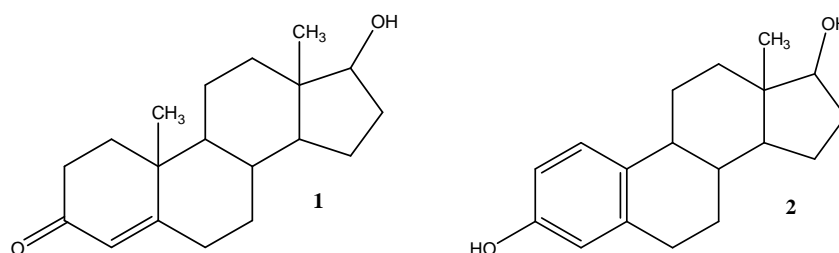


Рис. 1. Формулы мужского (1) и женского (2) полового гормона

Таким образом, из-за чрезвычайной сложности процессов, протекающих в организме, чаще всего очень трудно вообразить, основываясь лишь на знании химических формул веществ, какой из химических или физиологических процессов может нарушить то или иное вещество, какой жизненно важный орган поразить. К тому же большинство людей считает это знание избыточным. Несомненно, что именно через курс химии и в школе, и в вузах необходимо на доступном уровне развивать и углублять представления человечества о явле-

ниях, возникающих при взаимодействии химических веществ и живых организмов, формировать представления о токсичности и токсическом процессе.

Токсичность. В окружающую среду из-за техногенной деятельности человека вовлекаются все новые и новые вещества. Укажем, что ежегодно ученые открывают свыше 200 тысяч новых химических соединений. Поэтому жизненно необходимым является определение такого качества неорганических соединений, а также веществ органической и биологической природы, как токсичность. В общем случае токсичность определяют как меру любого аномального изменения функций организма под действием вещества при заданных внешних условиях [2]. Применительно к человеку, токсичность – это способность веществ вызывать немеханическим путем нарушения работоспособности, заболевания или гибель.

Для рассмотрения этого явления используем представление о химико-биологической системе как совокупности организма и воздействующего на него вещества (рис. 2).



Рис. 2. Химико-биологическая система

В данном случае организм представлен в виде «черного ящика». В кибернетике под «черным ящиком» понимают устройство, выполняющее определенную операцию над входным воздействием, при анализе которой оценивают только реакцию на данное воздействие. Использование этого представления целесообразно, поскольку априори не известно, какой из многочисленных химических процессов, протекающих в организме, может нарушить поступающее из внешней среды вещество. Исходное воздействие, в свою очередь, можно изменять за счет механизма обратной связи (воздействие результата операции на операцию).

Такое рассмотрение организма обусловлено двумя факторами. Во-первых, большинство людей не осведомлено о закономерностях воздействия веществ на организм. Во-вторых, даже специалистам очень часто до опыта неизвестно, какой из многочисленных жизненно важных процессов может нарушить вводимое в организм вещество. При исследовании токсичности в качестве отклика организма на воздействие вещества рассматриваются: 1) без заметного эффекта, 2) стимуляция, 3) терапевтические эффекты, 4) токсические и повреждающие эффекты, 5) влияние на репродуктивные функции, 6) летальный исход.

С целью минимизации воздействия вещества на организм для многих вредных веществ, используемых в техногенной деятельности, по результатам длительных исследований определяют, а затем законодательно устанавливают величину предельно допустимой концентрации (ПДК). Под ПДК понимают максимальное количество вредных веществ в единице объема воздуха или воды, которое при ежедневном воздействии в течение длительного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме и неблагоприятных наследственных изменений у потомства, а также не нарушает нормальной деятельности человека. Единицами измерения ПДК для воздуха являются мг/м³, а для воды - мг/л. Понятно, что чем ниже ПДК, тем более токсично вещество.

Для установления ПДК используют расчётные методы, результаты биологических экспериментов, а также материалы динамических наблюдений за состоянием здоровья лиц, подвергшихся воздействию вредных веществ. В последнее время широко используются методы компьютерного моделирования, предсказания биологической активности новых веществ, биотестирование на различных объектах. Значения ПДК, устанавливаемые на основании экспериментальных данных о токсичности, не одинаковы в разных странах и периодически пересматриваются. Значения ПДК для некоторых органических веществ в атмосфере приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Предельно допустимые концентрации некоторых веществ

Соединение	Формула	ПДК, мг/ м ³
Метанол	CH ₃ OH	5
Этанол	C ₂ H ₅ OH	1000
Ацетон	(CH ₃) ₂ O	200
Диметилсульфид	(CH ₃) ₂ S	5
Диметилсульфоксид	(CH ₃) ₂ SO	?
Диметилсульфат	(CH ₃) ₂ SO ₄	?

Для закрепления материала по данным этой таблицы аудитории предлагается высказать суждение о том, какое из веществ (диметилсульфоксид или диметилсульфат) более токсично. В большинстве случаев, видимо по ассоциации со свойствами SO₂ и сульфат-иона, аудитория уверена, что диметилсульфоксид более токсичен. Большое оживление вызывает сообщение о том, что это соединение мало токсично и используется при лечении радикулита, тогда как диметилсульфат использовался во время первой мировой войны в качестве боевого отравляющего вещества.

Оценка токсичности веществ по их формулам осложняется еще и тем, что изомеры неорганических и органических веществ имеют различную токсичность. Например, одним из наиболее токсичных веществ является 2,3,7,8-тетрахлордиоксин (тривиальное название – «диоксин»). Это соединение способно накапливаться в организме, а также обладает канцеро-

генным и мутагенным действием. У него имеется 21 изомер, отличающийся в основном расположением атомов хлора в молекуле. Токсичность остальных изомеров заметно ниже.

Механизмы взаимодействия химического вещества с биомишенью могут быть самыми разными, практически всегда формируется несколько типов связей, поскольку молекулы токсикантов часто включают и полярные и неполярные фрагменты [3]. Как правило, образующиеся продукты взаимодействия тем прочнее и токсичнее, чем более комплементарны молекула биомишени и молекула токсиканта (рис. 3).

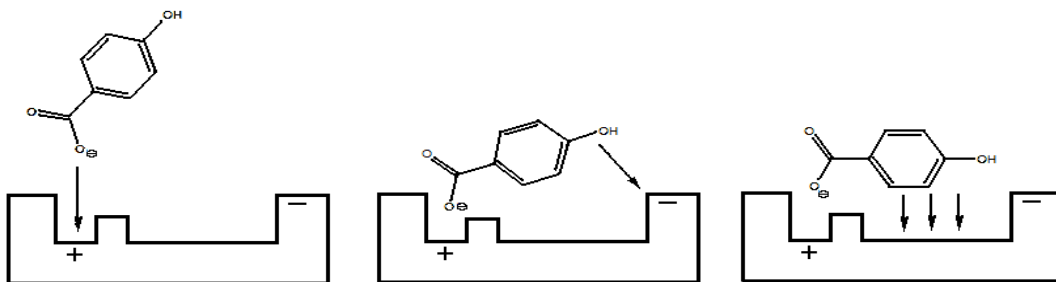


Рис. 3. Схема взаимодействия молекулы токсиканта с биомишенью [3]

Токсичность характерна не только для органических, но и для неорганических соединений. Подробно изучено влияние ионов металлов на различные организмы. В табл. 2 это свойство ионов металлов иллюстрируется рядами токсичности.

Т а б л и ц а 2

Ряды токсичности ионов металлов для организмов различных видов
(заряды ионов опущены)

Организмы	Ряды токсичности
Водоросли	Hg>Cu>Cd>Fe>Cr>Zn>Co>Mn
Грибы	Ag>Hg>Cu>Cd>Cr>Ni>Pb>Co>Zn>Fe
Цветковые растения	Hg>Pb>Cu>Cd>Cr>Ni>Zn
Черви	Hg>Cu>Zn>Pb>Cd
Рыбы	Ag>Hg>Cu>Pb>Cd>Al>Zn>Ni>Cr>Co>Mn>Sr
Млекопитающие	Ag, Hg, Cd>Cu, Pb, Co, Sn, Be>>Mn, Zn, Ni, Fe, Cr>>Sr>Cs, Li, Al

Для каждого вида организмов ионы металлов (заряд ионов опущен) приведены в порядке увеличения количества вещества, необходимого для проявления эффекта токсичности.

Можно видеть, что токсичность одних и тех же ионов металлов на организмы различных видов существенно различается. Здесь уместно напомнить, что значения ПДК установлены главным образом для млекопитающих и не могут быть критерием для оценки воздействия веществ на организмы других видов. В частности, при воздействии вещества на сложные экологические системы, включающие организмы различных видов, необходимо учитывать аккумуляцию вещества и его кругооборот в пищевых цепях.

Естественным по этому разделу является вывод, что, начиная работу с новым веществом, необходимо, прежде всего, по соответствующим инструкциям или справочной литературе ознакомиться с правилами безопасной работы с ним.

Полезные воздействия. Токсичность является предельным случаем влияния различных веществ на живые организмы. В общем случае отклик организма на вещества многообразен. Понятно, что далеко не все вещества способны оказывать стимуляцию или терапевтический эффект. Важно отметить, что оказываемый эффект зависит от концентрации (рис. 4).

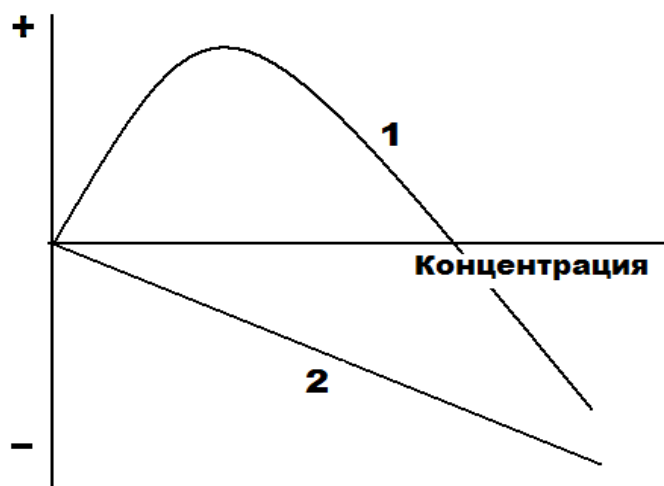


Рис. 4. Зависимость реакции организма на воздействие необходимого (1) и токсичного (2) вещества от концентрации

Положительным называют воздействие, которое обеспечивает нормальное функционирование организма, а отрицательным – воздействие, приносящее вред.

По виду воздействия на организм выделяют следующие группы веществ.

1. Необходимыми считают вещества, недостаток которых в организме приводит к функциональным нарушениям. Введение необходимых количеств этих веществ устраняет функциональные нарушения. Положительный эффект увеличения концентрации ионов металлов, например, проходит через максимум, а затем начинает падать до отрицательных величин. Биологический отклик организма становится отрицательным.

2. Инертными для организма являются некоторые металлы и их ионы в определенном диапазоне концентраций. Они не оказывают никакого действия на организм. Это свойство инертных металлов (тантал, золото) используют при протезировании.

3. Терапевтическими агентами (лекарствами) являются вещества, обладающие избирательной токсичностью. Принципиально важно указать, что для достижения необходимого терапевтического эффекта необходимо достигать в организме требуемой концентрации лекарства. Поэтому лекарства вводят порционно – дозами. Доза – количество лекарственного препарата, необходимая и достаточная для обеспечения терапевтического эффекта. В силу

индивидуальности каждого организма понятно, что подбор дозы является сложной задачей. Эту задачу в условиях современного российского здравоохранения большинство людей вынуждено решать практически самостоятельно. В этом случае в качестве отклика используются различные характеристики самочувствия.

Заключение

Проблема воздействия вещества на организм, на наш взгляд, должна найти свое отражение в учебных планах курсов химии в общей и высшей школе. Действительно, химическая безграмотность при реализации различных проектов сегодня становится угрозой для жителей России. Например, начиная с 2011 г. Правительство РФ предусмотрело постепенную замену населением осветительных ламп накаливания энергоэффективными лампами нового поколения. Между тем последние содержат пары ртути в опасных для здоровья количествах, техника безопасности по работе с этими лампами не описана в соответствующих инструкциях, а система утилизации отработанных ламп не создана.

Список литературы

1. Альбертс Б. Молекулярная биология клетки. – 2-е изд. – М. : Мир, 1993. – 517 с.
2. Ершов Ю.А. Механизмы токсического действия неорганических соединений. – М. : Медицина, 1989. – 272 с.
3. Киселев Б.Г., Сергиевский В.В. и др. Разработка технологии установления междисциплинарных связей в общем образовании // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. - URL: www.science-education.ru/105-6871 (дата обращения: 13.07.2012).
4. Куценко С.А. Основы токсикологии. – СПб. : 2002. – 395 с.
5. Розен В.Б. Основы эндокринологии. – М. : Высшая школа, 1984. – 384 с.
6. Сергиевский В.В., Ананьева Е.А., Звончевская М.Ф., Киселев Б.Г., Наговицына О.А. Модернизация системы школьного образования и мотивация к обучению // Современные проблемы науки и образования. - 2012. - № 4. - URL: <http://www.science-education.ru/104-6672> (дата обращения: 13.07.2012).

Рецензенты:

Петров Никита Васильевич, доктор философии (PhD), заместитель председателя Совета Научно-информационного и просветительского центра общества «Мемориал», г. Москва.

Колин Константин Константинович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем информатики Российской академии наук, г. Москва.