

ДИСКУССИОННАЯ СТАТЬЯ

**ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ОБЩЕСТВА, ХИМИИ И БИОТЕХНОЛОГИИ.  
НАУЧНЫЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭТИКО-МОРАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ**

**Андрей Вадимович Левашов**<sup>1</sup>, Владимир Витальевич Федорчук<sup>1</sup>, Святослав Сергеевич Савин<sup>1</sup>, Владимир Иванович Тишков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет

**Автор, ответственный за переписку:** Владимир Иванович Тишков, tishkovvi@  
ty.msu.ru

**Аннотация.** По мере развития общества его взаимоотношения с наукой и влияние на нее становятся все более значимыми. Умение ориентироваться в современных тенденциях развития науки и общества является важнейшим фактором при выборе новых тематик научных работ и понимания перспектив направлений развития научных исследований. Поэтому обучение молодых специалистов такому пониманию (в первую очередь в области естественных наук) является не менее важным аспектом высшего образования, чем собственно процесс получения фундаментальных и практических знаний. В статье рассмотрены вопросы развития взаимоотношений общества и таких областей науки, как химия и биотехнология (в первую очередь прикладная энзимология) на разных этапах эволюции человечества. Статья написана по материалам вводной лекции раздела по биотехнологии и прикладной энзимологии в рамках общего курса «Химические основы биологических процессов», читаемого на химическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Рассмотрены особенности и аспекты взаимодействия общества, химии и биотехнологии на разных этапах развития нашего мира, когда биотехнология прошла стадии развития от «пещернонезапамятной» (неосознанно природной) до «умной». Большой и важный вклад в написание этой статьи внесло обсуждение рассматриваемой проблемы на семинарах со студентами 3–6 курсов химического факультета МГУ. Отдельно обсуждаются последствия пандемии SARS CoV-2 на наше общество.

**Ключевые слова:** взаимоотношение науки и общества, этапы развития биотехнологии, современная роль биотехнологии

DOI: 10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-4-391-400

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания.

**Для цитирования:** Левашов А.В., Федорчук В.В., Савин С.С., Тишков В.И. Взаимоотношение общества, химии и биотехнологии. Научные, экономические и этико-моральные аспекты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. 2023. Т. 64. № 4. С. 391–400.

## DISCUSSION PAPER

**RELATIONSHIP BETWEEN SOCIETY, CHEMISTRY  
AND BIOTECHNOLOGY. SCIENTIFIC, ECONOMIC  
AND ETHICO-MORAL ASPECTS****Andrey V. Levashov**, **Vladimir V. Fedorchuk**<sup>1</sup>, **Svyatoslav S. Savin**<sup>1</sup>,  
**Vladimir I. Tishkov**<sup>1</sup><sup>1</sup> Department of Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation**Corresponding authors:** Vladimir I. Tishkov, tishkovvi@my.msu.ru

**Abstract.** As society develops, its relationship with science and influence on it becomes more and more significant. The ability to navigate the current trends in the development of society and science in particular is the most important factor in choosing new topics for scientific work and understanding the prospects for the development of scientific research. Therefore, training young professionals in this understanding (primarily in the field of natural sciences) is no less important aspect of higher education than the process of teaching fundamental and practical knowledge. This article discusses the development of relationships between society, chemistry and biotechnology (primarily applied enzymology) at different stages of human evolution. The article was written based on the materials of the introductory lecture of the section on biotechnology and applied enzymology as part of the general course “Chemical Foundations of Biological Processes”, read at the Faculty of Chemistry of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, The features and aspects of the interaction of society, chemistry and biotechnology at different stages of the development of our world, when biotechnology has gone through the stages of development from “cave-memorable” (unconsciously natural) to “smart”, are considered. A great and important contribution to the writing of this article was made by the discussion of this problem at seminars with students of 3–6 courses of the Faculty of Chemistry of Moscow State University. The impact of changes in our society as a result of the SARS Cov-2 pandemic is also discussed separately.

**Keywords:** relationship between science and society, stages of development of biotechnology, modern role of biotechnology

**Financial Support.** The work was carried out within the framework of the state task.

**For citation:** Levashov A.V., Fedorchuk V.V., Savin S.S., Tishkov V.I. Relationship between society, chemistry and biotechnology. Scientific, economic and ethical and moral aspects // Vestn. Moscow University Ser. 2. Chemistry. 2023. T. 64. № 4. S. 391–400.

Наука – важнейшая и неотъемлемая часть жизни и деятельности общества, однако взаимоотношение науки с обществом очень специфично, а иногда даже нетривиально и неоднозначно. В целом развитие науки определяется развитием потребностей человека. Потребности бывают разными, но оказывают на расширение сфер и путей развития научных (иногда это слово надо брать в кавычки) исследований эффективное воздействие (пусть и без достижения конечного результата). Стоит вспомнить развитие химии в Средние века в ходе поиска

философского камня. Несмотря на самую тесную интегрированность науки в общество, ее развитие часто идет самостоятельным путем, некоторые открытия опережают свое время на много лет и их реализация невозможна из-за недостаточного технического уровня. Однако впоследствии такие открытия кардинально меняли жизнь людей. Здесь уместно вспомнить историю появления, развития и применения полимеразной цепной реакции (ПЦР). Идея быстрого и дешевого получения большого числа (миллиарды и десятки миллиардов) копий це-

левых фрагментов ДНК с помощью ПЦР была высказана еще в конце 40-х годов прошлого века, однако практическая реализация стала возможной только в начале-середине 1980-х годов (первое сообщение о проведении ПЦР появилось в журнале «Science» в 1985 г.). Революционное внедрение ПЦР в нашу жизнь началось только после того, как была решена довольно простая с технической точки зрения задача получения термостабильной ДНК-полимеразы. Следует отметить, что развитие общества хотя и определяется некими общими законами, однако человеческий фактор, фактор личности играет очень важную, а часто определяющую роль. Фактически история человечества – это история войн. Есть очень много исторических примеров, которые показывают, как техническое преимущество обеспечивало победу. Конечно, разработки в военной сфере оказали очень важное влияние на уровень развития нашего общества (вспомним, что космос начинался с разработки межконтинентальных баллистических ракет), но никакие достижения мирного атома не позволят нам забыть бессмысленные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки.

В настоящей статье мы хотим обсудить проблемы взаимоотношения общества с такими областями науки, как химия и биотехнология (в первую очередь прикладная энзимология), обратив внимание на то, почему энзимология смогла стать прикладной. Хотя в прошлом веке, по крайней мере в первой его половине, можно было только мечтать об использовании ферментов на практике.

Прикладная (инженерная) энзимология – это часть биотехнологии, поэтому следует начать с биотехнологии вообще и далее перейти уже к частному. На заре человечества, в те времена, когда человек себя осознал, оказалось, что он нуждается в большом количестве всяких вещей. Фактически из всех живых существ на Земле человек, пожалуй, самый неприспособленный для жизни. Цыпленок, только что вылупившийся из яйца, уже ищет курицу, чтобы за ней идти. Если не найдет курицу, так пойдет за уткой, не за уткой, так за человеком, поскольку у него есть программа, по которой он живет. У человека программы нет. И лет до 25–30, иногда и дольше, человек учится и пытается найти себя в этой жизни. В природе это свойственно только человеку, поскольку ему многого не дано. Ему необходимы одежда, кров, еда и многие, многие другие вещи.

Он не может жить в чистом поле. Ему нужно иметь либо пещеру, либо квартиру, либо дом. В общем, потребностей очень много, а удовлетворить их сложно. Но человеку дано замечательное свойство, замечательное качество – способность к творчеству. И вот, как только человек себя осознал, он стал творить. Правда, иногда это его заводит, что называется, «не в ту степь». Но, тем не менее, творчество – это основа человеческой деятельности, основа человеческой цивилизации.

Если посмотреть на потребности человека, то видно, что он во всем нуждается. Можно долго перечислять эти самые потребности. Естественно, человек стал заниматься земледелием, скотоводством и брал многое из природы. Забегая вперед, скажем, что основа определения биотехнологии – это использование природы (природных объектов) для удовлетворения хозяйственных и личных надобностей, для получения продуктов различного назначения. Конечно, и пищу, и одежду, и лекарства, и энергию (все) человек брал из природы, при этом его голова активно и хорошо работала. Так как двигателем прогресса является лень, то человек всегда старается заменить часть работы, не труда, а именно работы, на что-то другое. И ищет новые и новые пути удовлетворения своих потребностей.

В результате в незапамятные времена появилась биотехнология, а именно сельское хозяйство. Появилась возможность, как бы сейчас сказали, выращивать животный белок. А тогда просто приручали, одомашнивали и выращивали зверей (стада животных). Люди начали выращивать разные сельскохозяйственные растения. И хотя сейчас есть очень много протестов по поводу того, чтобы относить сельское хозяйство к биотехнологии, следует вспомнить, что венгерский инженер Карл Эреки более ста лет назад в 1917 г. опубликовал замечательную книжку «Промышленное выращивание свиней на сахарной свекле», где впервые ввел термин «биотехнология», и фактически первым стал говорить о действительно промышленном сельском хозяйстве, хотя сельское хозяйство уже давным-давно встало на промышленные рельсы. Даже в незапамятные времена, когда человечество себя только познавало и искало пути выживания и развития, биотехнология уже существовала.

Слово «биотехнология» сложное. Мы хорошо знаем такие термины, как «химия» и «физика» – это простые слова с четким смыслом.

В частности, слово «химия» произошло, вероятно, от греческого  $\chi\mu\sigma$  (сок) и стало употребляться во времена получения металлов. Это слово прижилось и обозначает очень важную в жизни общества науку. Слово «биология» состоит уже из двух греческих слов  $\beta\acute{\iota}\omicron\varsigma$  и  $\lambda\acute{o}\gamma\omicron\varsigma$  и означает изложение природы, объектов природы, жизни. И вот, между этими словами влезло еще одно слово –  $\tau\acute{\epsilon}\chi\eta\eta$ . Мы специально так подробно рассказываем эту историю, потому что, когда создается сложная конструкция, то обычно где тонко, там и рвется. Это не прочная конструкция. Кроме того, у авторов есть определенное возражение против слова  $\tau\acute{\epsilon}\chi\eta\eta$ , поскольку в переводе с греческого  $\tau\acute{\epsilon}\chi\eta\eta$  – это ремесло. Раньше были ремесленные училища (потом их стали называть технические училища или техникумы), а сейчас используется «модное» слово колледж. Наука и техника – совершенно разные вещи, техника – это делание чего-либо без понимания. В общем, «технос» – это низший уровень познания. Поэтому слово «биотехнология» само по себе, по своей конструкции, довольно опасно. А кроме того, это «техно», входящее в слово биотехнология, часто уводит людей далеко в сторону, когда, не понимая, что они делают, люди просто самоуверенно начинают «творить». Выше уже говорилось, что желание творить у человека есть всегда, даже когда он не знает, что делает и зачем. Это касается не только биотехнологии, но и многого другого. В целом, при рассмотрении биотехнологии очень важными являются (даже выходят на передний план) проблемы этики, об основных принципах которой сейчас, к сожалению, забыли. Этика – наука, созданная древними греками, исследует отношения человека с обществом и природой, и может быть, в первую очередь именно с природой. В Средние века европейская цивилизация (участниками которой мы себя тоже считаем) этику отменила и оставила только мораль. А мораль – это взаимоотношения людей друг с другом, где природе места нет. О природе со Средних веков стали говорить, как о враждебном окружении. Хотя сейчас не Средние века, но все помнят крылатую фразу о том, что «мы не можем ждать милостей от природы; взять их у нее – наша задача». И по этому пути человечество очень активно идет.

Если говорить о незапамятных временах, то пищу давала природа, одежду давала природа (различные растительные волокна, шкуры животных). Материалы были природные (пальма, древесина, сено-солома, бамбук), их вокруг было

предостаточно. Лекарства были, как правило, растительного происхождения (в восточной и южно-американской медицине много экзотических препаратов также и животного происхождения). Конечно, мы хорошо знаем, что знахари для создания лекарственных снадобий использовали и лапку лягушки, и крыло летучей мыши, и прочее, прочее, однако все это было природного происхождения. Энергия также была природная.

И вот, человеку этого показалось мало. Люди довольно интенсивно стали искать другие (не природные) источники для получения пищи, одежды, крова и т.д. Эти поиски оказались довольно успешными. Последнее время многие, глядя на колбасу, говорят, что это не колбаса, а сплошная химия. И в целом они часто бывают правы. Очень часто не только в колбасе, но и в мясе нет животного белка. С помощью химии (биотехнологии) человек научился производить очень похожие на натуральные эрзац-продукты. И здесь очень хочется вспомнить о том, как в последние 3–5 лет страны «западной цивилизации» стали активно внедрять в пищу насекомых (из них делают дешевую колбасу). Поэтому довольно часто многие называют нашу цивилизацию «химиургией», т.е. цивилизацией, построенной на химии, на использовании химических производств.

Давайте посмотрим, что нас сейчас окружает. Пища – химия, одежда – химия (хотя, слава Богу, ушли те времена, когда в магазине можно было купить только нейлон и полиэстер). Более того, когда всему населению не стало хватать дешевых материалов на основе досок, то стали делать ДСП. В итоге в XX в. была создана огромная химическая база, в которой одежда, материалы, лекарства и почти все остальное – это химия.

Первые колокольчики надвигающихся неприятностей стали звонить где-то в начале-середине XX в., а во второй половине произошли несколько серьезных экологических катастроф с загрязнением воды, воздуха, земли. Такие загрязнения происходят и сейчас. Даже во льдах Антарктиды легко обнаружить ДДТ и прочие прелести химии (отметим, что 1948 г. «за открытие высокой эффективности ДДТ как контактного яда», в том числе для истребления насекомых, переносивших возбудителя сыпного тифа и малярии, т.е. за практическое использование ДДТ, Пауль Мюллер получил Нобелевскую премию). Можно сказать, что людям очень хотелось создавать и использовать материалы (вещества), которых нет в природе. Синтезировать и использовать,

синтезировать и использовать. Но оказалось, что это путь не лучший. В 50–60-е годы прошлого столетия люди осознали, что это путь в никуда, что этот путь скоро закончится и закончится очень печально. Появилось множество новых заболеваний, и первое, что сразу приходит на ум – это антибиотикоустойчивость, хотя проблем и без нее очень много – пищевая аллергия, многие аномалии и отклонения в развитии и состоянии человека. То, что чисто химический путь ложный, неправильный, человечество ясно осознало фактически только во второй половине XX в. Было принято решение не целиком перестроиться на природный путь, а использовать в химии как можно больше элементов биотехнологии, т.е. сделать гибрид из химии и биологии, но биологии именно в виде биотехнологии.

Возвращаясь к пещернонезапамятным временам, когда возникло сельское хозяйство (просто естественная биотехнология), нужно отметить, что тогда же активно стала развиваться и искусственная биотехнология. Речь идет о ферментации. Оказалось, что с помощью различных микроорганизмов можно эффективно (и достаточно дешево) проводить трансформацию одних веществ в другие. С помощью ферментации был получен спирт из сахара, были получены вино и сыр. Стали ферментировать табак, печь хлеб, перерабатывать различными способами молоко и прочее, прочее, прочее. Многие соусы восточно-азиатской кухни (соевый, рыбный и др.) до сих пор получают путем длительной ферментации (6 месяцев и более). Здесь огромное поле деятельности. И сейчас тоже. Эта сфера деятельности, когда используют не крупные объекты живой природы, а «мелкие» микробы (микроорганизмы), называют прикладной или технической микробиологией. С незапамятных времен это направление биотехнологии успешно развивается, а сейчас наиболее интенсивно из-за того, что в прикладную микробиологию стали вкладывать больше денег и появилась возможность создавать новые, не встречающиеся в природе генно-инженерные штаммы с повышенной эффективностью и селективностью. Например, такие штаммы при брожении позволяют повысить содержание спирта с 10–12 до 20%.

В 60-е годы XX в. была издана замечательная книжка «Физики шутят». Там было написано, что наука – это удовлетворение собственного любопытства за государственный счет. Вообще, это так и было. Но в 70-е годы журналисты до-

несли до обывателя, что это его деньги тратят ученые. И дело обывателя проконтролировать трату этих денег. И вот тогда образовалось множество «зеленых» комитетов и прочих движений, которые стали вставлять палки в колеса и всячески тормозить как развитие химического производства, так и использование биотехнологии. И сейчас ученые имеют очень много неприятностей со стороны этих организаций, не всегда компетентных, а часто невежественных (но об этом мы подробно говорить не будем). Просто хочется подвести читателя к тому, что общество сегодняшнее очень сильно отличается от того, что было в середине XX в., а тем более 100 лет назад. Если в средние века говорили, что золотой век наступит, когда философы станут царями или цари станут философами (и тогда наука была очень престижной), то сейчас престиж науки резко опустился и на первое место потихоньку стал выходить PR. Оказалось, что с помощью public relation легко внушить людям даже с высшим образованием всякую чепуху. В последние несколько лет в связи с бурным развитием «культуры блогерства» (вещают и учат все, кому не лень, и при этом многие еще хорошо на этом зарабатывают) эта ситуация усугубляется все больше и больше.

Любой химик знает, что моря и океаны щелочные. Поэтому увеличение количества  $\text{CO}_2$  в ходе глобального потепления – это вещь в себе. Углекислый газ будет растворяться в щелочной среде и образовывать мел. А то, что есть небольшое увеличение количества углекислого газа в атмосфере, связано с изменением температурного режима. Люди слишком высоко себя оценивают, считая антропоморфными те изменения, которые наблюдаются. На протяжении долгого существования планеты Земля происходили колебания разного уровня. Было и тепло, и очень холодно. Заметим, что 100 млн лет назад на Земле было намного теплее и содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере было как минимум в два раза выше, чем сейчас. Однако это не мешало бурному развитию растительности, а по планете бродили существа ростом до 10 м и весом более 10 т. И умерли они совсем не от потепления. Не так давно очень много шума было насчет высыхающего Каспийского моря. Кричали, что нужно северные реки повернуть в Волгу и быстро-быстро напоить Каспий. Однако без всякого поворота северных рек уровень Каспийского моря стал повышаться, и скоро оно будет плескаться у стен Девичьей башни в Баку. Зато

другие озера стали мелеть, например, уровень Мертвого моря заметно понижается. Почему? Вряд ли из-за того, что Иордан стали изводить, как извели в свое время на полив Амударью и Сырдарью. И это предмет особого обсуждения. Есть отдельные места антропоморфных изменений в природе, но в целом это просто не совсем изученные явления. В заключение этой части хочется упомянуть курьезный пример, как мнение людей по поводу климатических отклонений может меняться. Первый лауреат Нобелевской премии по химии Сванте Аррениус (разработка теории электролитической диссоциации растворов) был еще и основателем науки о круговороте углерода в природе. Эта теория в настоящее время играет гораздо более важную роль, чем теория электролитической диссоциации. В начале XX в. С. Аррениус призывал повысить среднюю температуру на планете на несколько градусов за счет сжигания угля, леса и нефти. Курьез истории заключается в том, что через сто лет, уже в XXI в., его праправнучка Грета Тунберг призывает к прямо противоположному.

На сегодняшний день, конечно, нет идиллической картины – коровки пасутся на лугу, рядом фермер делает сыр, отделяет сливки от молока, обратно поит телят, сливки отправляет в город или сам взбивает масло. Уже давно все, как на конвейере, все разделено. И коровки находятся в другом состоянии – в стойле. Но, тем не менее, кормить коров надо. Травы не хватает. Коров и баранов, поедающих свежую траву, сейчас можно увидеть только в далекой глубинке. В большинстве регионов такого уже не увидишь. Основная еда животных – обычный комбикорм, практически везде «приправленный» антимикробными и гормональными препаратами. Использование «нетрадиционных» для сельского хозяйства источников углеводов привело к тому, что в корма стали добавлять специальные ферменты. Рынок таких ферментных кормовых добавок и по тоннажу, и по стоимости (более 110 млрд долларов в год) среди различных производств ферментов занимает второе место. Комбикорм – сложная смесь. В общем случае это аминокислоты, белки (как правило, растительные), зерно кукурузы или пшеницы, соя в качестве белка, витамины (как правило, синтетические) – анаболики, стероидные гормоны, гормоны роста, потому что нужно, чтобы на 100 г корма привес составил, по крайней мере, 50 г, а то и побольше. И привес должен быть за

счет белка. Ну а чтобы случайно, как у Отца Фёдора с кроликами, не произошло падежа, нужно устраивать ветеринарную профилактику, поэтому в еде у животных имеется очень высокий уровень антимикробных препаратов. Чаще всего в этих целях используют фторхинолон ципрофлоксацин, который, согласно данным ВОЗ, входит в первую тройку соединений, загрязняющих воду в окружающей среде. Так же обстоят дела с овощами, которые обычно выращивают не на грядке (разве что на даче), а в теплицах, пользуясь химическими удобрениями. Это делается во всем мире, даже в глубинке Африки и Южной Америки.

Таким образом, получается, что среди продуктов питания, продающихся в магазине, полно химии. Даже в натуральных (фермерских) продуктах (животных или растительных) тоже можно обнаружить большое количество не природных веществ, а химических. И все это попадает к нам на стол. Как следствие – повсеместное использование биологических добавок для стимулирования пищеварения.

Средства массовой информации уже просто все уши прожужжали насчет нитратов, но не только нитраты представляют большую опасность, поскольку в продуктах питания остается огромное количество различных гербицидов и ядохимикатов. Особенно сильно загрязнены поля в Средней Азии, а чтобы понять почему, давайте вспомним, как американцы вели войну во Вьетнаме. Им было необходимо обнаруживать партизан, поэтому они очень активно использовали оранжевый реагент (Agent Orange) – дефолиант. Самолет пролетел, сбросил дефолиант на джунгли, листья все упали, и сразу партизан видно. Это изобретение делалось не на пустом месте. И в Соединенных Штатах, и в СССР было очень развито выращивание хлопка. Хлопок низкого качества хорошо нитруется и получается артиллерийский порох. Целые республики в СССР работали в этом направлении. Мир довольно активно использовал сельское хозяйство именно для военных целей. Но почему об этом вспомнили сейчас? А потому: чтобы убрать хлопок, сначала нужно обязательно избавиться от листьев. И поля посыпали дефолиантами. Посыпали не только поля, но и детишек, которые эти коробочки обирали, и не только детишек, но и мам, иногда и папы попадались.

Никита Сергеевич Хрущёв в свое время говорил о химии, как о важном элементе Советской власти: «Коммунизм – это есть Советская

власть плюс электрификация всей страны, плюс химизация народного хозяйства». В результате в 50-е годы химия стала особенно сильно внедряться в промышленность и проникать в нашу жизнь. Благодаря этому, мы имеем и Арал (Аральское море), и Среднюю Азию, и многие земли под виноградники, отравленные, ну почти как в Чернобыле, на десятки, а то и на сотни лет вперед.

Перед виноделами остро стояла задача борьбы с филлоксерой. От этих вредителей пострадала вся Европа, а у нас особенно сильно пострадала Молдавия. И вот с филлоксерой стали бороться с помощью большого количества ядохимикатов, которые в воде не растворяются, т.е. являются сильно гидрофобными, как и положено биологически активным соединениям. И до сих пор они находятся в почве, до сих пор их можно найти во фруктах и ягодах, которые там выращивают. На хлопковых полях, засыпанных дефолиантами, сейчас выращиваются дыни и арбузы. В них можно найти не только нитраты, но и большое количество различных фосфорорганических, хлорорганических и других очень неполезных для человеческого организма соединений.

Это все отрицательные последствия химии, отрицательные последствия широкого применения химических методов в народном хозяйстве. Химия не всегда оказывается хорошей, например, использование присадок к бензину вызвало серьезное загрязнение окружающей среды. Хотя это тоже больше миф. При использовании тетраэтилсвинца для повышения октанового числа бензина в придорожной траве действительно повышается содержание свинца. Коровы, которые пасутся около шоссе, в молоке имеют повышенное содержание свинца. Но представьте себе, что еще рабы древнего Рима водопровод делали из свинцовых труб. А когда из свинца стали лить пули и делать картечь (до сих пор дробь свинцовая), и охотники, и военные засыпали всю землю в Европе, особенно водоемы, огромным количеством свинца. Почему делается акцент на водоемы? Потому что в водоемах обитают и рыбы, и утки. Выходит, что свинца в земле и так очень много, не сравнить с тем количеством, которое находят в молоке коров, пасущихся у обочины шоссе.

Тем не менее, надо следить за экологической чистотой. Нужно не только «не сорить», но и уметь «убирать». И сейчас потихоньку началась уборка. Что очень важно, как раз с раз-

витием биотехнологии появились методы анализа, позволяющие легко определять различные загрязнения. Наконец-то, люди увидели, что же они натворили, как запаковали воздух, воду и землю. Оказалось – ужас! Кстати, еще один пример. После Чернобыля очень многие наши соседи стали заявлять, что Чернобыль их «засыпал радиацией» и даже хотели требовать штрафов и компенсаций, в частности, Германия и Чехия обнаружили у себя колоссальные источники радиоактивного загрязнения. А оказалось, что это шлак от угля низкого качества. На протяжении столетий дома в Европе топили углем, а оставшиеся зола и шлаки очень сильно «фонят». Анализ того, что находится на помойках, в отвалах, на пустырях, а иногда и под домами, привел людей в ужас. Сейчас эта ситуация довольно интенсивно стала исправляться. Оказывается, очень многое можно выправить, если просто перестать сорить.

Сегодняшнее сельское хозяйство – картина далеко не пасторальная и идиллическая. Конечно, это по-прежнему коровки и прочие животные, но уже как элемент мощной промышленности, не на земле, а в составе тех или иных комбинатов, когда под одной крышей находятся сотни тысяч животных. Конечно, тут необходима ветеринарная профилактика, конечно, тут остались анаболики и другая «химия», хотя появилось много замен, менее токсичных и более полезных. Эта область стала активно развиваться, и не только за счет развития крупных биологических объектов, свою лепту вносит сюда энзимология. Стали широко использоваться процессы, которые используют ферменты как катализаторы.

Сейчас ферменты применяют в самых разных отраслях, и одна из самых больших – пищевая промышленность (третья по величине область после ферментов в стиральных порошках и ферментов в виде кормовых добавок в сельском хозяйстве). Ферменты, как и промышленную микробиологию, издревле очень активно используют для улучшения свойств пищевых продуктов. Достаточно вспомнить, что уже не одну тысячу лет существует сыроделие. В этом производстве первая стадия ферментная (уже потом следует микробиологическая стадия) – гидролиз молочного белка казеина ферментом химозиним. Это особый по специфичности гидролиз. В природе этот фермент имеется у телят крупного рогатого скота, так как молоко – это их основная пища. Если раньше телят умерщвляли, чтобы добыть химозин, то сейчас его получают генно-инженер-

ным путем. Хотя можно использовать фермент не только говяжий, но и полученный из других животных. Например, последние данные свидетельствуют, что химозин лося даже более эффективен, чем химозин телят. Можно получать химозин не только из животных. Одно время активно использовали ферменты из высших грибов. Именно благодаря этому и существует в мире не одна сотня очень неплохих сортов сыра. За последние годы биотехнология стала очень активно развиваться в правильном направлении, используя научные знания об объектах природы, позволяющие получить или улучшить существующие продукты.

Долгое время на пути практического применения ферментов стоял, казалось бы, непреодолимый барьер – низкая стабильность. Но оказалось, что, если очень захотеть и подумать, эту задачу можно решить. Использование иммобилизованных ферментов позволило решить сразу две проблемы – низкую стабильность и высокую стоимость чистых ферментов. С 70-х годов прошлого века стали бурно развиваться исследования в области иммобилизации ферментов и использования иммобилизованных ферментов для промышленных целей. Кстати, из-за этого распалось много хороших научных коллективов в Соединенных Штатах. Ученые из лабораторий уходили в семейный бизнес. Они патентовали тот или иной способ иммобилизации и в режиме «table technology» производили дорогостоящие продукты с помощью иммобилизованных ферментов. Однако следует отметить, что иммобилизация – это довольно дорогой процесс и, как правило, такие биокатализаторы в основном используются в процессах получения продуктов с высокой добавленной стоимостью (например, в фармацевтической промышленности). Число процессов на иммобилизованных ферментах постоянно сокращается, поскольку методы генетической инженерии позволили создавать биокатализаторы с высокой стабильностью и низкой ценой. Особо популярной при проведении периодических процессов стала технология «single use biocatalyst», когда проводится наращивание рекомбинантного штамма – продуцента целевого фермента и полученные клетки используются всего один раз. Однако есть область биотехнологии, где иммобилизация будет использоваться практически всегда – это биосенсоры, где для многократного применения такого сенсора его биоселективные компоненты (ферменты, специфические белки и целые клетки), должны

быть закреплены на электроде или внутри него.

В заключение данной статьи хотим остановиться на некоторых важных аспектах развития взаимоотношений общества с такими областями науки, как химия и биотехнология. Хотим еще раз отметить, что статья носит дискуссионный характер, все высказывания и заявления, приведенные в этой статье отражают только личное мнение авторов и никоим образом не претендуют на официальную позицию. Тем не менее, отметим, что все сказанное в этой статье обсуждалось не один год со студентами химического факультета МГУ и в большинстве случаев мы нашли понимание и получили одобрение.

Совсем недавно весь мир пережил пандемию SARS CoV-2. На этом примере мы хотели бы отметить еще три важных момента в будущем развитии химии и биотехнологии.

1. Этические и моральные аспекты. Современный уровень развития биотехнологии привел к тому, что многие ее достижения могут представлять очень большую опасность для человечества. Как в свое время физики-атомщики, понимая последствия обладания атомной бомбой только одной стороной, добровольно передали атомные технологии другой стороне. Более 20 лет назад многие самые авторитетные ученые, работающие в области «наук о живом», подняли вопрос о запрете или хотя бы жесточайшем контроле за работой по генной модификации организмов, включая человека. Существующие на тот момент технологии не позволяли добиться значимых результатов, но и их было уже достаточно для промышленного получения препаратов сибирской язвы в непромышленных (фактически домашних) условиях. Следует признать большой удачей, что пакеты с порошком сибирской язвы, рассылаемые по почте после событий 11 сентября 2001 г., не вызвали эпидемии. За последующие 22 года возможности манипуляций с целыми клетками и редактирования больших геномов перешли на качественно новый уровень (Нобелевская премия 2020 г. за открытие и разработку системы редактирования геномов CRISPR/CAS9). К интересным курьезам манипулирования с клетками и организмами можно отнести клонирование овечки Долли.

В случае применения CRISPR/CAS9 ситуация намного сложнее. Даже теоретически положительные эксперименты в Китае по лечению еще на стадии беременности близнецов от ВИЧ с помощью геномного редактирования вылились в серьезнейшую морально-этическую пробле-

му, решения которой пока так и нет. Еще более серьезной является история появления вируса SARS CoV-2. Многие авторитетные ученые всего мира высказывают предположение, что этот вирус имеет искусственное происхождение. Представлены многочисленные аргументы (как «за», так и «против»), но, по нашему мнению, в пользу «человеческого» происхождения вируса свидетельствуют два неоспоримых факта.

А. Геном вируса по G/C-составу всегда оптимизирован под геном хозяина. У человека и SARS CoV-2 общее содержание пар G/C составляет 38%, однако в геноме вируса имеются две открытые рамки считывания ORF1a и ORF1b (общая длина более 20 тпн или не менее 2/3 от общего размера генома), кодирующие 16 неструктурных белков. В 8 генах из 16 содержание G/C-пар отличается от среднего более, чем на 3%, а у 2 генов – генов белка ORF6 и белка N число пар G/C составляет 27,96 и 46,22% соответственно.

Б. Скорость появления новых мутантных вариантов SARS CoV-2. В отличие от вируса ВИЧ этот вирус имеет систему коррекции ошибок после копирования РНК, и в начале пандемии у исследователей было твердое убеждение, что SARS CoV-2 должен мутировать очень медленно, однако менее чем за год появились разные мутанты в таких странах, как Индия, Бразилия и ЮАР, причем последние варианты SARS CoV-2 отличаются от исходного вируса на 33 аминокислоты (фактически все появились ОДНОВРЕМЕННО в течение года) в областях, которые важны для заражения и последующего размножения (общее число замен еще больше). Несмотря на то, что СМИ некоторых стран настойчиво пытаются продвигать гипотезу о «естественном» китайском происхождении вируса, версия об искусственном создании SARS CoV-2 в другой стране имеет самые серьезные обоснования. Поэтому, несмотря на то, что пандемия завершилась, всему мировому сообществу следует быть готовым к новым появлениям или этого вируса, или новых вирусов, может быть даже более опасных, которые могут иметь искусственное происхождение. Активный сбор некоторыми ведомствами образцов биологического материала в разных странах не исключает того, что эти вирусы могут быть регионспецифичными.

2. Химия и биотехнология сыграли одну из решающих ролей в борьбе с пандемией SARS CoV-2. Быстрая и точная диагностика наличия заболевания является необходимым требованием для борьбы с пандемией. И здесь вклад химии и биотехнологии можно назвать реша-

ющим. Стоит вспомнить, что первые ПЦР-диагностикумы на РНК SARS CoV-2 были очень дорогими (стоимость анализа 100 и более долларов) и отличались высокой долей ложноположительных и ложноотрицательных результатов (до 40%). Одной из причин такой ситуации было то, что в этих диагностикумах использовалась классическая ПЦР (кПЦР). Этот вид ПЦР очень хорошо зарекомендовал себя ранее (напримр, при диагностике ВИЧ). Еще как минимум за 10–15 лет до пандемии SARS CoV-2 были предложены варианты изотермической ПЦР (иПЦР), которую можно проводить на более простых и дешевых приборах (простой термостат вместо ДНК-циклера). К сожалению, внедрение иПЦР было искусственно заторможено из-за желания транснациональных корпораций получать прибыль за счет сохранения на рынке диагностикумов с кПЦР. Однако потребность общества в очень большом числе быстрых, дешевых и надежных наборов для диагностики SARS CoV-2 (сотни миллионов анализов по всему миру) позволило преодолеть эту преграду. Немалую роль сыграло также быстрое (три месяца с момента начала пандемии) получение мутантной формы Bst ДНК-полимеразы, которая позволила сократить время анализа с 30 до 5–10 минут при повышении чувствительности и точности. Следует также отметить разработку и быстрое выведение на рынок экспресс-тестов на антитела к SARS CoV-2. У некоторых наборов стоимость одного анализа составляла всего 110 руб., и этот анализ мог выполнить сам пациент. Для создания таких наборов химикам и биотехнологам пришлось решить много задач, включая создание технологий синтеза специальных мембран и нанореагентов на различные типы антител.

3. Какие специалисты в области химии и биотехнологии понадобятся в будущем? Среди задач, которые обязательно надо решать при внедрении тех или иных достижений науки в практику, естественно, надо организовать производство необходимого оборудования и реагентов, разработать соответствующую нормативную документацию, а также решить проблему подготовки кадров. Последняя почему-то считается наименее важной, что совершенно не так. Подготовка необходимых специалистов как раз очень часто является ключевой и она должна решаться не только на уровне обучения операторов, а, что более важно, на уровне подготовки специалистов по разработке технических регламентов и нормативной документации. Наглядным примером является

внедрение в диагностику наборов на основе классической ПЦР. Для этого потребовались специалисты по разработке и созданию производства реагентов, специалисты по разработке наборов на конкретные мишени, высококвалифицированные специалисты для проведения анализа. В связи с вышесказанным становится очевидным, что должна быть сохранена и развита подготовка специалистов в традиционных областях химии (неорганическая, органиче-

ская, аналитическая и др.), но в то же время число подготовленных специалистов в области биотехнологии должно расти более быстрыми темпами и это необходимо делать именно на химических факультетах вузов. Практика показала, что специалисты с химическим образованием и «химическим» подходом в выполнении научных проектов могут добиться больших успехов в этой области, чем исследователи, не обладающие такими навыками.

### **Информация об авторах**

Федорчук Владимир Витальевич – ст. науч. сотр. кафедры химической энзимологии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, канд. хим. наук (vfedorchuk@gmail.com);

Савин Святослав Сергеевич – ст. науч. сотр. кафедры химической энзимологии химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, канд. биол. наук (savinslava@gmail.com);

Тишков Владимир Иванович – профессор химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, докт. хим. наук, профессор (tishkovvi@my.msu.ru).

### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 05.04.2023;  
одобрена после рецензирования 12.04.2023;  
принята к публикации 14.04.2023.