

Изв. вузов «ПНД», т. 19, № 1, 2011

60 лет назад Борисом Павловичем Белоусовым была открыта периодическая химическая реакция. Илья Романович Пригожин назвал открытие важнейшим экспериментом XX века.

Главную роль в том, чтобы реакция стала известна миру, сыграл Симон Эльевич Шноль. Мы публикуем фрагменты из его удивительной книги «Герои, злодеи, конформисты российской науки», где описана эпопея открытия.

БОРИС ПАВЛОВИЧ БЕЛОУСОВ (1893-1970) И ЕГО КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ РЕАКЦИЯ*

Колебательная реакция Белоусова–Жаботинского широко известна не только в научном мире. Ее знают школьники, студенты, просто любознательные люди. Вы смотрите на стакан с красно-лиловой жидкостью, а он вдруг становится ярко-синим. А потом снова красно-лиловым. И снова синим. И вы невольно начинаете дышать в такт колебаниям. А когда жидкость налита тонким слоем, в ней распространяются волны изменения окраски. Образуются сложные узоры, круги, спирали, вихри или все приобретает совершенно хаотический вид.

Эта реакция известна уже более 40 лет**. Ее открыл в 1951 году Борис Павлович Белоусов [1, 2]. Анатолию Марковичу Жаботинскому принадлежит решающий вклад в изучение этой реакции, в то, что это замечательное явление стало общенаучным достоянием [3].

Реакция именуется особо почетным образом – двумя инициалами: BZ-reaction.

Открытие Белоусова практически завершило почти 150-летний поиск колебательных режимов в химических процессах.

Периодические процессы вообще, по-видимому, одна из основ для построения теорий в самых различных отраслях. Периодичность – регулярное повторение

*Шноль С.Э. Герои, злодеи, конформисты российской науки. 2-е изд. М.: КРОН-ПРЕСС, 2001. 875 с. Серия «Экспресс». ISBN 5-232-01243-6

©Шноль С.Э., 2000

©КРОН-ПРЕСС, 2000

** Сейчас уже более 60 лет. – *Прим. ред.*

чего-либо во времени и (или) в пространстве – убеждает нас в познаваемости мира, в причинной обусловленности явлений. В сущности, периодичность – основа мировоззрения детерминизма. Понимание ее природы позволяет предсказывать события, скажем, затмения или появление комет. А такие предсказания – главное доказательство силы науки.

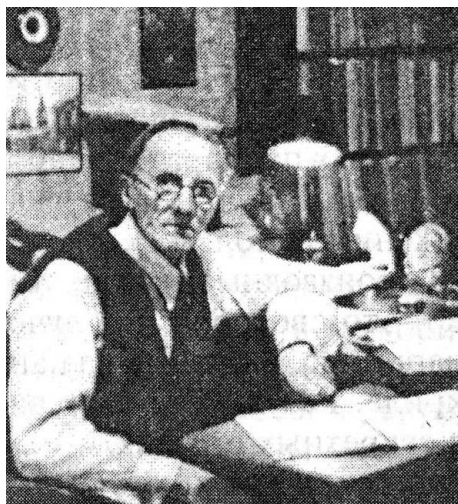
История VZ-reaction – яркая иллюстрация старой загадки: что было раньше – курица или яйцо? Что первично – феномен, требующий теоретического объяснения, или теория, предсказывающая появление неизвестного ранее феномена? На самом деле это «порочный круг». Мы замечаем и объявляем феноменом лишь то, что понимаем, для чего уже существует теория. Но для построения теории должен быть «заказ» – наличие необъясненного феномена.

Разрыв этого порочного круга требует огромных интеллектуальных и нравственных усилий исследователя-первопроходца. Инерция «здравого смысла» – причина множества трагических судеб, печальной «традиции посмертной славы», когда замечательные открытия оказываются преждевременными, не признанными при жизни их авторов.

Открытие Белоусова – в этом ряду. Оно наглядно демонстрирует эту трудность восприятия «очевидности», того, что в буквальном смысле слова видно очам и, тем не менее, не видится окружающим. < . . . >

В это время (в 1940-е годы. – *Прим. ред.*) в биохимии были открыты циклические реакции: одно вещество превращается во второе, второе в третье, третье в четвертое, потом в пятое, а из него образуется опять первое. Борис Павлович подумал, что это замечательная вещь и надо ее исследовать, что хорошо бы сделать химическую аналогию биохимических циклов.

Вот тут-то и начинается «химия с детства». Это только «живой» химик может сразу придумать. Вспомнить, что в 1905 году он брал бертолетову соль, что ее аналог $KBrO_3$: там хлор, а тут бром. Можно устроить реакцию, в которой исходный компонент цикла Кребса – лимонная кислота – будет окисляться этим аналогом бертолетовой соли. Бром окрашен, поэтому он будет виден, когда выделится в ходе реакции. Это была удача.



Б.П. Белоусов, 1950-е годы

Чтобы ускорить реакцию, Борис Павлович добавил в раствор каталитические количества соли церия. Церий – элемент переменной валентности, он катализирует окисление, переходя из четырех- в трехвалентное состояние. В растворе, в довольно концентрированной серной кислоте, сначала действительно появилась желтая окраска, но потом почему-то исчезла и вдруг возникла снова, а потом опять исчезла... Так была открыта колебательная химическая реакция в растворе. < . . . >

В 1951 году генерал Белоусов послал статью об открытой им колебательной реак-

ции в «Журнал общей химии» [1,2]. И получил обидную отрицательную рецензию: «такого быть не может». В статье был описан легко воспроизводимый процесс. Все реактивы вполне доступны. Но если вы твердо убеждены в невозможности результата, то проверять его – пустая трата времени. Внук Бориса Павловича, Борис Смирнов, уговаривал деда: «Возьми реактивы, поезжай в редакцию – покажи им...» Генерал считал все это оскорбительным, не соответствующим нормам научной этики, и не поехал. Хотел бы я знать, кто автор рецензии? Но... редакционная тайна. Есть у меня подозреваемые, но нет доказательств.

А Белоусов продолжал изучать свою замечательную реакцию. Колебания желтый-бесцветный не очень яркие. Ученик и сотрудник Бориса Павловича А.П. Сафонов посоветовал ему добавить в раствор комплекс железа с фенантролином. Окраска резко изменилась. Лилово-красная переходила в ярко-синюю. Это было прекрасно. <...>

Теперь, думаю, пора рассказать о том, как я стал участником этой истории. В Московский университет я поступил в 1946 году, как это ни странно, со своим происхождением, с репрессированным отцом, да и национальность неподходящая... Но в 1946 году это еще было можно. В 1947 году стало труднее. А потом щель захлопнулась. <...>

В 1951 году окончил я университет, получил диплом с отличием. <...>

Атомная программа и в ней тема: радиоактивные изотопы в биологических и медицинских исследованиях. Работа опасная – норм безопасности практически еще нет. Лучевая нагрузка большая. Опасаться ее «непатриотично». Моя жизнь тогда зависела от точности и аккуратности работы с радиоактивными веществами.

А после трех часов дня все сотрудники уходят, и я свободен заниматься своей биохимией. Ставлю опыты по измерению ферментативной (АТФ-азной) активности растворов мышечных белков. Я знал, что не делаю ошибки больше, чем один процент. Ну, полтора. И вдруг пробы отличаются вдвое [14]. <...>

... Я все наливаю точно и аккуратно, а результат не тот. Пришлось сделать странный вывод – существует несколько дискретных состояний изучаемых мною молекул белка, и все молекулы сразу, синхронно переходят из одного состояния в другое и обратно. Так это же колебания... Тогда я думал, что первым увидел колебания в биохимических реакциях. А это очень, как бы сказать, неуютно. Всем нужно доказывать, что такое в принципе может быть. Трудно чувствовать себя пионером. Прошло несколько лет. Большим психологическим утешением стала для меня в 1958 году статья Христиансена, великого датского химика, о возможности колебательных режимов в химических и, более того, в биохимических процессах [17,18]. С.Е. Северин поместил мою статью «О самопроизвольных переходах препаратов актомиозина из одного состояния в другое» в редактируемый им журнал «Вопросы медицинской химии» [19], и я послал письмо и отпечаток Христиансену. Он обрадовался, что его предположения подтвердились, и отметил это в своем обзоре 1961 года [18].

Но я по-прежнему чувствовал себя неуверенно и всюду пытался узнать о похожих явлениях. Тогда я еще ничего не знал о попытках найти колебательные режимы в химических и биохимических реакциях. Не знал статей Франк-Каменецкого, Лотки, Сальникова. А мои консультанты-математики вообще принципиально никакую литературу не читали, полагаясь лишь на мощь своего интеллекта.

И однажды кто-то мне сказал: «А знаешь, есть тут один старик, он вот перед тобой стакан с жидкостью поставит, и она будет то синей, то красной...» – «А ты сам-то знаешь его?» – «Нет, я только слышал». – «Ну, вспомни, кто тебе сказал?» – «Нет, не помню». Это свойство секретных учреждений – никто ничего не должен знать о работах, «выходящих за пределы твоей компетенции». Можно работать рядом в комнате и ничего не знать о соседях. Предпринял следствие, пошел по цепочке, но она все время обрывалась. И длилось это долго. Но всегда, докладывая на семинарах и в разных собраниях свои работы, я заканчивал вопросом: «Не знает ли кто-нибудь этого таинственного человека?»

Все годы с того момента, когда в моих опытах стал проявляться необъяснимо большой «разброс результатов, я рассказывал об этом Льву Александровичу Блюменфельду (см. [20]. – *Прим. ред.*). <...>

... В Москве, на Петровке, рядом с уголовным розыском, есть церковь – маленькая прекрасная церковь, которая в те времена принадлежала почему-то Институту химической физики. Кошунство, но факт. В этой церкви, в алтарной части, у Блюма был кабинет, а там, где когда-то шла служба, теперь проходили семинары. В этой церкви я и делал доклад «О самопроизвольных изменениях (колебаниях) АТФ-азной ферментативной активности в препаратах актомиозина», закончив его уже традиционно (как в Древнем Риме: «А в остальном, я полагаю, что Карфаген должен быть разрушен») «А в остальном, я безуспешно ищу человека... и не нахожу». И вдруг встал Борис Смирнов, он был тогда аспирантом Блюма, и говорит: «А это мой дядя». Как потом оказалось, не дядя, а двоюродный дед. Два Бориса очень дружили, и даже химиком младший стал под влиянием деда. Я ахнул: «Боря, как же...» – «Это его реакция, – говорит Борис, – все это чистая правда».

Дальше все стало разворачиваться с колоссальной скоростью. Я – Борису: «Мне надо побыстрее прочесть что-нибудь». Он – мне: «Дед видеть тебя не захочет. А реакцию передаст». Да, действительно обычный листок бумаги с рецептом; лимонной кислоты столько-то, калия бромноватокислого столько-то, сульфата церия столько-то и серная кислота 1:3, концентрированная. И добавить фенантролин с железом. Записан и номер телефона. Я позвонил Борису Павловичу, дрожащим голосом, в нервном напряжении говорю ему что-то. Он меня очень мрачно обрывает: «Вы рецепт получили и ладно».

В лаборатории у меня стоял бесценный шкаф с реактивами. Там было все, но фенантролина не было. Приготовил растворы, и вот это нечто, бело-желтое, заколебалось! Колоссальное впечатление. <...>

В <...> 1958 году Л.А. Блюменфельду предложили организовать кафедру биофизики на физическом факультете МГУ. Мне было лестно, что Блюм поставил условие: взять Шноля в качестве лектора-биохимика, Но ему было сказано: «Мы не можем покупать kota в мешке!». Два года я читал курс «на общественных началах» (как говорили в то время), а с 60-го – уже будучи в штате. Оказалось, что реакция Белоусова легко понимается физиками. Один за другим сотрудники стали бегать к нам в комнаты, рассказывать другим, началось паломничество. Шутники обозвали реакцию «водка–коньяк». Действительно, похоже: бесцветное, а потом желтое такое, коричневатое...

Я позвонил Борису Павловичу, сказал, что чувствую себя неловко. В лабораторию приходит много людей, наблюдают, изучают. Это хорошо, но ведь могут

опубликовать, а работа ваша. Он на меня зарычал: «И пусть, – напряжением, нервным криком, – пусть тащат, наконец-то это выйдет в свет!». К тому моменту я уже много раз ему звонил, уговаривал опубликовать. Он предпринял попытку, переделал статью, послал еще раз в журнал и... получил еще одну отрицательную рецензию. Наверное, я знаю и второго рецензента. В общем, беседы наши были очень мрачные. Но тут и я сорвался: «Вы, Борис Павлович, поступаете очень плохо, ставите меня в положение вора. Но я не вор, и все происходящее на моей совести. В конце концов, это безнравственно». И он задумался, а потом сказал: «Ладно, воткну в институтские рефераты». Шли полузакрытые отчеты их института по радиационной медицине за 1959 год. Четыре маленьких странички – единственная публикация Белоусова [1] при жизни. Но все же я могу гордиться, что взвыл, вскричал... и опубликовано!

<...> Реакцией решил заняться Толя Жаботинский из первого нашего выпуска, потомственный, как он сам про себя говорил, физик. То есть, сын физика, и дед его имел отношение к нашим наукам. <...>

И Толя занялся. И занялся совершенно замечательно. Он все знал. Он сразу стал думать об уравнениях, о моделях. Легко сделал прибор и быстро стал продвигаться. Понял, что во что превращается, что Борис Павлович был не прав в каких-то деталях.

Я снова попытался вовлечь Белоусова в дело, и снова безрезультатно. Однажды в одной из бесед, довольно ранней, он мне сказал: «Я не могу и не хочу заводить новых друзей. Мои друзья погибли или умерли». Чтобы я больше не приставал. Эти слова произвели на меня большое впечатление и многое объяснили в его поведении. Какой-нибудь нормальный, живой, открытый человек, он Бориса Павловича, может быть, и переубедил бы. Я не сумел. К сожалению, не таким человеком был и Жаботинский. <...>

Замечательной особенностью работ Жаботинского и образовавшейся вокруг него группы сотрудников было, сочетание химического эксперимента, методов физической регистрации и построение математических моделей. В этих моделях – системах дифференциальных уравнений – кинетические константы подставлялись из экспериментальных данных. После этого можно было сравнивать экспериментальные записи колебаний с кривыми, которые получались при компьютерном моделировании. <...>

К 1963 году основной качественный этап изучения реакции Белоусова был завершен. Борис Павлович об этом знал, Толя ему звонил. Но включаться в работу он так и не захотел. Аспиранту Жаботинскому нужно было написать статью. И он написал весьма ценную первую статью [3]. Возник естественный вопрос об авторах.

Мне хватало своих дел. <...>

...Статья вышла за подписью одного Жаботинского. Мне воздавалась «благодарность за предложенную тему и руководство работой». Статья произвела такой неожиданный эффект, что восхищенное человечество назвало реакцию именами Белоусова и Жаботинского.

«Научное сообщество» постепенно проникалось сознанием, что колебательные режимы не только возможны, но даже обязательны и достаточно распространены в химии и биохимии. Особенно хотелось их найти в биохимии, чтобы ими объяснить феномен биологических часов.

С обоснованием высокой вероятности колебательных биохимических реакций с точки зрения теории колебаний на семинаре И.Е.Тамма в Физическом институте АН СССР в 1959 году выступил аспирант Д.С. Чернавский [24]. Теперь уже возникла ситуация, когда теория, понимание опережали феноменологию. Мы ожидали открытия колебаний в биохимических системах. И дождались.

В июне 1963 года в Москву приехал знаменитый американский биохимик Бриттен Чанс. <...>

На лекцию Чанса в аудиторию 01 в главном корпусе МГУ собрался весь цвет московского биохимического общества. Чанс рассказывал о своих исследованиях кинетики гликолиза, показывал замечательные слайды. Как у прекрасного инженера, у него такие спектрофотометры, такая техника, куда нам... И вижу я на слайде, иллюстрирующем ход фосфофруктозокиназной реакции, явные синусоидальные колебания, правда, небольшой амплитуды. А он ни слова. В некотором смущении я спрашиваю, почему он ничего не говорит о колебаниях в этой реакции? Чанс отвечает, что признак плохого тона обращать внимание на шум приборов... За меня вступились свободные в английском языке Л.А. Блюменфельд и А.Е. Браунштейн. После лекции разговор был уже вполне любезным. <...>

Осенью 1964 года вышла статья Чанса о колебательной кинетике фосфофруктозокиназной реакции. В биохимии начался бум исследований колебательных режимов. Из года в год росло число таких публикаций.

Меня же охватил патриотический, я бы сказал, комсомольский страх – приоритет страны теряется. Мы первые в очень большом направлении, и это надо закрепить. Пошел к Франку: «Глеб Михайлович, давайте собирать международный симпозиум. Иначе все уйдет от нас». (Так оно и произошло.) Франк все это прекрасно понимал, и мы решили созвать в Пущино международный симпозиум. А дальше все как обычно: оказалось, что международный симпозиум нужно «заказывать» за два года вперед...

В 1966 году, в марте, был созван первый Всесоюзный (увы, не международный) симпозиум по колебательным процессам в химии и биохимии. Это совершенно историческое событие в науке. Потому что колебательные процессы в биологии: биологические часы, всякие процессы типа сердечной деятельности, перистальтики кишечника и даже численность популяций – все это одни и те же дифференциальные уравнения. Физики находили это одним из главных достижений нашего Пущинского центра и Института биофизики. Активное участие в работе симпозиума принимал Д.А. Франк-Каменецкий, делали доклады И.Е.Сальников и Б.В. Вольтер, А.М. Молчанов, Д.С. Чернавский и его коллеги Ю.М. Романовский и Н.В. Степанова, представил свои первые работы Е.Е.Сельков. Центральное место занимали доклады А.М.Жаботинского и его соавторов – М.Д. Корзухина, В.А. Вавилина. Борис Павлович Белоусов от участия в симпозиуме отказался.

Уже в августе 1966 года мы сдали в печать «Труды» симпозиума, и в январе 1967 года вышла книга «Колебательные процессы в химических и биологических системах» [25]. Прошло много лет, и мне все больше кажется, что это очень ценная книга. Она была весьма популярна у нас – весь тираж быстро раскупили – и в мире. Не раз раздавались пожелания перевести ее на английский язык, но это так и не сделано.

Задолго до симпозиума произошло еще одно знаменательное событие. О реакции Белоусова захотел узнать подробнее президент Академии наук СССР Мстислав Всеволодович Келдыш. Мы волновались. Он был известен как человек совсем особых скоростей восприятия, феноменальной эрудиции. Сосредоточенный, мрачный, лицо в таких львиных морщинах. Мы приехали к Келдышу 16 декабря 1964 года. Пришли в его затемненный кабинет на Миусской площади, в дом, построенный еще Петром Петровичем Лазаревым по эскизу Лебедева. Огромный стол с зеленым сукном, графин, стаканы. Мы взяли с собой пробирки, реактивы, серную кислоту. Но что в математическом институте нет химических стаканов и колб, не догадались. Реакцию проводили в стакане. Поставили стакан на сукно. Серная кислота, когда опыт закончился, оставила черный кружок на столе. Но Келдыш не дрогнул и вида не показал, что заметил.

Жаботинский кратко изложил суть: Келдыш свирепел, если говорили долго. В стакане пошли колебания, мы думали, что Келдышу этого достаточно, но он зло посмотрел на стакан и сказал: «Вы от меня скрываете самое главное?». А самым главным были цветные волны, которые начинались у дна и шли вверх. Келдыш был специалистом по пространственным эффектам колебаний. Жаботинский пространственные волны, конечно, заметил, но еще в этом не разобрался и решил не рассказывать о них Келдышу. Не тут-то было! Президент ужасно рассердился, посчитав, что ему просто не хотят рассказывать... Реплика была чрезвычайной важности. А потом мы узнали, что это видел и Белоусов. Даже назвал колбу «зеброй». И полагал это наиважнейшим.

После симпозиума Жаботинский сосредоточился на исследовании распространения волн. < . . . >

Пространственные эффекты, распространение волн в активной среде открыли новые замечательные возможности и аналогии. Подобным же образом распространяется возбуждение в нерве, в сердечном синцитии, вообще в «активных средах». VZ-реакция «вышла на оперативный простор», вошла в учебники и стала одним из ярких объектов новой науки синергетики [26].

Итак, преувеличено ли значение открытой Белоусовым реакции? Нисколько. Справедлива ли его посмертная слава? Без сомнения. И она нисколько не умаляет заслуг множества исследователей, на протяжении почти трех столетий изучавших эти проблемы [27, 28].

Осталось сказать, что пока человечество узнавало про Бориса Павловича Белоусова, его выгнали из института... «поскольку он стар и часто болеет». Он в самом деле был стар, но его творческая активность оставалась очень высокой. Он не вынес жизни без лаборатории и умер 12 июня 1970 года. Когда Жаботинский в 1974 году защищал докторскую диссертацию [29], его оппонент, великий человек, академик Рэм Викторович Хохлов сказал: «По аналогии с автоколебаниями процесс распространения волн в активной среде можно назвать автоволновым». Термин Хохлова прижился, только никто не знает, что слово было рождено у нас в зале. Эта новая часть науки, посвященная в основном пространственным эффектам, соединилась с исследованиями распространения волн возбуждения в сердце и вообще в «активных средах» Кринского–Иваницкого. Образовалась тесно взаимодействующая команда: Жаботинский, Кринский, Иваницкий, Заикин. И эта четверка двигала дело дальше.

Возникла идея о Ленинской премии. В списке соискателей не было Белоусова. И я был этим страшно возмущен. Ленинские премии, в отличие от Нобелевских, давали и посмертно. Я был представителем института в комитете по Ленинским премиям, и когда К.Б. Яцимирский спросил о Белоусове, ответил, что Борис Павлович первый, остальные все-таки идут за ним. Кто-то заметил, что это все равно невозможно, на подбор документов нужен месяц, а до 22 апреля, дня рождения Ленина, когда объявляли о присуждении премий, осталось три недели. Я заявил: «Берусь представить их завтра» и побежал звонить Георгию Ивановичу Задонскому, благородному человеку, в Институт биофизики Минздрава, где когда-то работал Б.П. Белоусов. Задонский заранее подобрал документы. «У вас папка целая?» – «А как же!» – «Привозите». Георгий Иванович привез папку. И Бориса Павловича внесли в список. Кажется, это никому не было нужно. Все суета, но... мне казалось, что это важно. Борису Павловичу присудили Ленинскую премию посмертно. Это было в 1980 году, через десять лет после его смерти.

Примечания к главе 13*

1. *Белоусов Б.П.* Периодически действующая реакция и ее механизм / В сб. рефератов по радиационной медицине за 1958 год. М.: Медгиз, 1959. С. 145–147.
2. *Белоусов Б.П.* Периодически действующая реакция и ее механизм / В сб.: Автоволновые процессы в системах с диффузией. Науч. тр. под ред. М.Т. Греховой. Горький, 1981. С. 176–186.
3. *Жаботинский А.М.* Периодический ход окисления малоновой кислоты в растворе (исследование кинетики реакции Белоусова). Биофизика. 1964. Т. 9. С. 306–311.
4. *Полищук В.* На общих основаниях. Новый мир. № 4. 1984. С. 83–207.
5. *Вольтер Б.В.* Легенда и быль о химических колебаниях. Знание – сила. 1988. № 4. С. 33–37.
6. *Zhabotinsky A.M.* A history of chemical oscillations and waves. CHAOS 1(4). 1991. P. 379–385.
7. *Лазарев П.П.* Исследования по ионной теории возбуждения. М., 1916.
8. *Шемякин Ф.М., Михалев П.Ф.* Физико-химические периодические процессы. М.-Л., 1938.
9. *Lotka A.J.* Contribution to the Theory of Periodic Reactions J.Phys.Chem. 1910. Vol. 14. P. 271.
10. *Lotka A.J.* Undamped Oscillations Derived from the Law of Mass Action J. Amer. Chem. Soc. 1920. Vol. 42. P. 1595–1599.
11. *Андронов А.А.* Предельные циклы Пуанкаре и теория автоколебаний. М., 1956. С. 41–43.
12. *Франк-Каменецкий Д.А.* Периодические процессы в кинетике окислительных реакций. М., 1939. Т. 25.

*Редакция считает уместным привести полный список цитируемой литературы, который представляет самостоятельный интерес.

13. Франк-Каменецкий Д.А. Успехи химии. 1941. Т. 10. С. 373.
14. Франк-Каменецкий Д.А., Сальников И.Е. О возможности автоколебаний в гомогенной химической системе при квадратичном автокатализе. Журнал физической химии. 1943. Т. 17. С. 79.
15. Сальников И.Е. К теории периодического протекания гомогенных химических реакций. Канд. дис. Горьковский ун-т., 1948.
16. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.-Л., 1947.
17. Christiansen J.A. Elektrochem. 1958. Vol. 62. P. 225.
18. Christiansen J.A. Advances in Enzymology. 1961. Vol. 23. P. 83.
19. Шноль С.Э. Вопросы медицинской химии. 1958. Т. 4. С. 443.
20. Лев Александрович Блюменфельд – автор принципиальных научных концепций, множества научных статей и многих книг на русском и английском языках, основатель кафедры биофизики физического факультета МГУ, признанный глава отечественной школы биофизиков предполагал (и имел основания) стать профессиональным поэтом. Всю жизнь он пишет стихи. Они должны выйти отдельной книгой. Его биографический роман (под псевдонимом Лев Александров) «Две жизни» (роман издан в 1996 г. по инициативе, заботами и на средства Сергея Никитина) в значительной мере посвящен военным годам его биографии.
21. Андронов А.Л., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959.
22. Жаботинский А.М. Исследование автоколебательных химических реакций в гомогенной жидкой среде. Канд. дис. Институт биофизики АН СССР. 1965.
23. Обзор результатов исследований, занимавших меня многие десятилетия: Шноль С.Э., Коломбет В.А., Пожарский Э.В., Зенченко Т.А., Зверева И.М., Конрадов А.А. О реализации дискретных состояний в ходе флуктуации в макроскопических процессах. Успехи физических наук. 1998. Т. 168. № 10. С. 1129-1140.
24. Чернавская Н.М., Чернавский Д.С. Биофизика. 1958. Вып. 3.
25. Колебательные процессы в биологических и химических системах. Труды Всесоюзного симпозиума по колебательным процессам в биологических и химических системах. Пушино-на-Оке, 21-26 марта 1966 г. М.: Наука, 1967.
26. Oscillations and Traveling Waves in Chemical Systems. Eds R.J. Field, M. Durger, John Wiley and Sons. N.Y., 1985.
27. Сальников И.Е. У истоков теории химических автоколебаний / В сб.: Динамика систем. Динамика и оптимизация. Нижний Новгород, 1992.
28. Сальников И.Е. Термокинетические колебания – взаимные колебания температуры и концентрации реагентов в гомогенной химической системе. (К 50-летию введения этого понятия Д.А. Франк-Каменецким) // Журнал физической химии. 1998. Т. 72. № 7. С. 1193–1195.
29. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания. Наука, 1974. 178 с.