

**ПАМЯТИ НАШИХ ДРУЗЕЙ И КОЛЛЕГ  
ЕВГЕНИЯ ЕФИМОВИЧА ГОРОДЕЦКОГО (1941–2015)  
И СЕРГЕЯ БОРИСОВИЧА КИСЕЛЕВА (1951–2015)**

М.А. Анисимов<sup>1,5</sup>, И.М. Абдулагатов<sup>4</sup>, М.Ю. Беляков<sup>1</sup>, В.И. Богоявленский<sup>1</sup>,  
В.П. Воронов<sup>1</sup>, Б.А. Григорьев<sup>3</sup>, А.Н. Дмитриевский<sup>1</sup>, А.М. Евтюшенков<sup>6</sup>, А.И. Ермолаев<sup>2</sup>,  
Ю.Ф. Кияченко<sup>1</sup>, В.Д. Куликов<sup>1</sup>, В.Б. Нагаев<sup>2</sup>, В.Э. Поднек<sup>\*1</sup>, Ян Сенгерс<sup>5</sup>,  
И.К. Юдин<sup>1</sup>, А.И. Черноуцан<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем нефти и газа РАН, Москва

<sup>2</sup> РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва

<sup>3</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Московская область

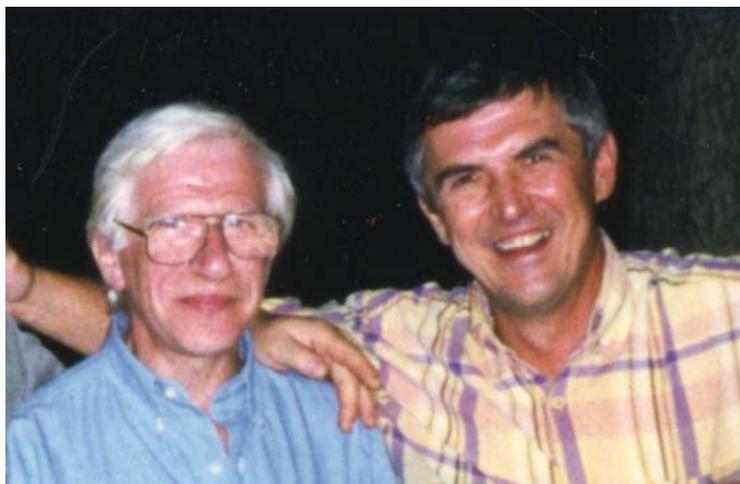
<sup>4</sup> Дагестанский государственный университет, Махачкала

<sup>5</sup> Университет штата Мэриленд, Колледж Парк, США

<sup>6</sup> ООО «ИзТех», Зеленоград

\* e-mail: [podnek77@gmail.com](mailto:podnek77@gmail.com)

Осенью 2015 года российская и мировая наука потеряла талантливых ученых, педагогов, организаторов науки – Евгения Ефимовича Городецкого и Сергея Борисовича Киселева. Они были нашими коллегами и близкими друзьями. Мы работали вместе и тесно общались в течение многих десятилетий и не можем не откликнуться на эту тяжелую утрату. Их жизнь является ярким примером бескорыстного служения науке, достойным подражания молодыми людьми, мечтающими о научной карьере.



Е.Е. Городецкий (слева) и С.Б. Киселев  
на 13-м Международном симпозиуме по теплофизическим  
свойствам веществ в Боулдере (США) в 1997 году

Е.Е. Городецкий и С.Б. Киселев – видные представители российской термодинамической школы, сформировавшейся в конце 60-х годов во Всесоюзном научно-

исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ) Госстандарта СССР и получившей дальнейшее развитие в Московском институте нефтехимической и газовой промышленности (МИНХ и ГП) имени И.М. Губкина, а затем в Институте проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН и в Отделении физико-химических свойств Национального института стандартов и технологий США (NIST) и Горной школе Колорадо (Colorado School of Mines), где с 1995 года работал С.Б. Киселев.

Е.Е. Городецкий и С.Б. Киселев внесли заметный вклад в современную теорию фазовых превращений и критических явлений в жидкостях и жидких смесях. В мировой науке имя Е.Е. Городецкого связано с формулировкой концепции изоморфизма критических явлений в бинарных и многокомпонентных жидких смесях, а имя С.Б. Киселева – с разработкой параметрического кроссоверного уравнения состояния, существенно расширившего область описания термодинамических и транспортных свойств околокритических флюидов.

---

Евгений Ефимович Городецкий родился 22 сентября 1941 года в городе Краснофимске Свердловской области, куда его семья была эвакуирована из Москвы ввиду угрозы захвата города приближающимися немецкими войсками. Его отец – Ефим Наумович Городецкий, лауреат Сталинской премии, и мать – Полина Вениаминовна Гурович были известными советскими учеными, историками Октябрьской революции и Гражданской войны. В 1944 году семья Городецких вернулась в Москву. После окончания в 1959 году средней школы Евгений поступил на физический факультет Горьковского университета, который окончил в 1964 году по специальности «диэлектрики и полупроводники», после чего был распределен во ВНИИФТРИ (пос. Менделеево Московской обл.), аналогичный по значению и задачам Национальному институту стандартов и технологий США.

В 1965 году Е.Е. Городецкий был зачислен в штат лаборатории фазовых переходов (отдел №40) ВНИИФТРИ, входившей в состав отделения «Низкотемпературная термометрия и теплофизика (НИО-2)» и созданной известными учеными – экспериментатором А.В. Воронелем и теоретиком М.Ш. Гитерманом. В это время научным руководителем ВНИИФТРИ был выдающийся советский ученый академик С.А. Христианович, а начальником теоретического сектора – Л.М. Пятигорский, один из авторов первого тома «Меха-

ника» всемирно известного «Курса теоретической физики» Л.Д. Ландау. В Институте располагалась базовая кафедра физико-технических измерений МФТИ, которую возглавлял известный теплофизик член-корреспондент АН СССР (впоследствии академик) И.И. Новиков. Научный семинар лаборатории фазовых переходов имел статус общемосковского, в нем принимали участие ведущие физики из Москвы С.А. Леонтович, Н.Г. Басов, А.М. Прохоров, А.И. Ларкин, И.Л. Фабелинский и другие.

С этой лабораторией связана научная судьба Е.Е. Городецкого, прошедшего путь от аспиранта до руководителя лаборатории фазовых переходов и критических явлений ИПНГ РАН. Лабораторию отличала особая творческая атмосфера, в поддержании и развитии которой Е.Е. Городецкий играл важную роль. Это было связано с его высоким профессиональным уровнем и широтой научных интересов, выходящих далеко за рамки решаемых физических проблем. Благодаря Евгению Ефимовичу, обладавшему такими качествами, как чуткость, внимательность, отзывчивость к окружающим людям, серьезное отношение как к решению научных задач, так и к жизненным проблемам близких (и не очень близких) людей, в коллективе сложились по-настоящему теплые, дружеские взаимоотношения. Творческие устремления сотрудников поддерживало активное участие теоретической группы Е.Е. Городецкого и его учеников В.С. Есипова, А.Т. Берестова, В.М. Запрудского и др. в постановке экспериментальных работ и осмыслении их результатов.

В 1970 году на диссертационном совете ВНИИФТРИ Е.Е. Городецкий защитил кандидатскую диссертацию на тему «Особенности кинетических коэффициентов вблизи точек фазовых переходов второго рода» (специальность «молекулярная физика и термодинамика»), за которую ему была присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук.

В период работы во ВНИИФТРИ Е.Е. Городецкий внес заметный вклад в развитие физики фазовых переходов и критических явлений в жидкостях и жидких смесях. В конце шестидесятых годов вместе с М.Ш. Гитерманом он объяснил расходимость теплопроводности в критической точке жидкость – пар [1] независимо от аналогичных результатов, полученных приблизительно в то же время (1968–1970) в США. Это поразительное явление было экспериментально обнаружено в 1962 году в лаборатории Ван-дер-Ваальса в Голландии одним из нас (Яном Сенгерсом), но в течение нескольких лет оставалось совершенно не понятым. Чуть позже Гитерман и Городецкий распространили свою теорию на динамические критические явления в бинарных жидкостях [2].

В 1971 году, снова независимо от исследований, проводимых на Западе, Е.Е. Городецкий вместе с А.В. Воронелем и одним из нас (М.А. Анисимовым) распространили концепцию универсальности критических явлений в чистых веществах на бинарные жидкие смеси [3]. Формулировка такого обобщения, которая в дальнейшем получила название «изоморфизм критических явлений», оказалась чрезвычайно плодотворной и привела к глубокому осмыслению природы аномального поведения термодинамических свойств жидких смесей в окрестности линии критических точек жидкость – пар, не говоря уже об огромном числе публикаций в ведущих мировых научных журналах, посвященных дальнейшему развитию этой концепции.

В начале 80-х годов Е.Е. Городецким совместно с сотрудниками лаборатории фазовых переходов ВНИИФТРИ был выполнен цикл теоретических и экспериментальных исследований релеевского рассеяния света в жидкостях и стеклах [4, 12, 13, 20]. Эта работа привела к значительному прогрессу в понимании их оптических свойств. В частности, было показано, что с экспериментальной точностью абсолютная величина и симметричные свойства (угловые и поляризационные зависимости) релеевского рассеяния света в жидкостях и стеклах определяются их термодинамическими (и кинетическими для стекол) свойствами. В этот же период было выполнено исследование динамики критических флуктуаций ориентации вблизи температуры фазового перехода изотропная жидкость – нематик в ультразвуковом эксперименте [15]. Совместно с В.М. Запрудским были выполнены теоретические работы по исследованию критического поведения в системах с взаимодействующими параметрами порядка [8], ренорм-групповому анализу трикритической точки [9] и фазового перехода изотропная жидкость – нематик в жидких кристаллах [10].

В 1981 году Е.Е. Городецкий перешел на научную и преподавательскую работу на кафедру физики в Институт нефтехимической и газовой промышленности (в настоящее время РГУ нефти и газа (НИУ)) имени И.М. Губкина, которую незадолго до этого возглавил М.А. Анисимов и куда вслед за ним уже перешли многие бывшие сотрудники лаборатории фазовых переходов ВНИИФТРИ. Здесь в течение трех десятилетий Е.Е. Городецкий читал лекционный курс «Фазовые переходы и критические явления», под впечатлением которого многие студенты факультета разработки нефтяных и газовых месторождений МИНХ и ГП выбрали карьеру ученого-исследователя. В 80-е годы Е.Е. Городецкий сотрудничает с журналом «Квант», активно занимаясь популяризацией научных знаний среди школьников и студентов.

Перейдя в МИНХ и ГП имени И.М. Губкина, Е.Е. Городецкий обращается к изучению фазовых переходов в жидких кристаллах. В работе [18] в рамках теории слабой кристаллизации Ландау показано, что уменьшение размерности пространственной решетки жидких кристаллов и, как следствие, само их существование, обеспечиваются способностью составляющих их молекул к достаточно сильному одноосному ориентационному упорядочению. В работе [19], ставшей одной из наиболее известных работ Е.Е. Городецкого с коллегами, экспериментально доказано существование в жидких кристаллах эффекта изменения рода фазового перехода, сопровождаемого экранировкой безмассового (калибровочного) поля. Указанный эффект был предсказан в 1974 году американскими учеными Гальпериным, Любенским и Ма для сверхпроводников и жидких кристаллов. Однако, как заметил Е.Е. Городецкий с одним из нас (В.Э. Поднеком), лишь в жидких кристаллах в окрестности трикритической точки Де Жена на линии фазовых переходов нематик – смектик А указанный эффект становится наблюдаемым и доступным экспериментальному изучению [22].



Е.Е. Городецкий  
в середине 80-х  
(из личного дела  
в ИФНГ РАН)

С октября 1988 года, продолжая читать лекции на кафедре физики в МИНГ имени И.М. Губкина, Е.Е. Городецкий переходит в Отдел физических проблем в незадолго до этого созданный Институт проблем нефти и газа АН СССР и ГКНО СССР, где участвует в работе по теме «Исследование теоретических моделей фазовых переходов в многокомпонентных системах». Здесь он собирает вокруг себя теоретическую группу из шести человек, двое из которых – молодые кандидаты физико-математических наук. В это время основное направление работы группы Городецкого связано с исследованием коллоидных систем, построением теории мицеллярных растворов и эмульсий, анализом механизма критической точки Лифшица в жидких кристаллах [21].

В начале 90-х годов Е.Е. Городецкий активно занимается общественной деятельностью, является депутатом Дзержинского районного Совета народных депутатов г. Москвы. Однако и в это время он находит время для педагогической и научной работы.

С 1994 года Е.Е. Городецкий сотрудничает с научной группой профессора Яна Сенгерса из Института физических наук и технологий Мэрилендского университета в Колледж Парке (США). Несколько раз он посещал Мэриленд, а в 1999–2000 годах был

приглашенным профессором-исследователем. Это сотрудничество привело к общей формулировке теории критических явлений в жидких смесях [27]. Еще одним интересным совместным результатом пребывания Е.Е. Городецкого в Мэриленде явилась демонстрация того, что взаимодействие флуктуаций энтропии и концентрации в околоскритической бинарной жидкой смеси может приводить к классическому аналогу квантового эффекта Ландау – Зинера «непересечения» связанных динамических мод.

Начиная с 1995 года и до своей внезапной смерти Е.Е. Городецкий был заведующим лабораторией фазовых переходов и критических явлений ИПНГ РАН и доцентом кафедры физики в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. В этот период Евгений Ефимович направляет усилия руководимой им лаборатории на решение практически важных задач, используя при этом высокий научный потенциал коллектива.

В 1995 году в работе [27] было предсказано сингулярное поведение производной давления по температуре при постоянной плотности в бинарной смеси, отсутствующее в однокомпонентных системах. Позднее было показано, что в бинарных смесях сингулярности указанной производной и изохорной теплоемкости линейно связаны друг с другом. Экспериментальное подтверждение этого важного теоретического предсказания было получено позднее в работе [40].

Несмотря на то, что Е.Е. Городецкий был физиком-теоретиком, он глубоко ценил экспериментальные исследования и с интересом вникал в них. Прежде всего, это касалось традиционных для лаборатории калориметрических измерений. Кроме того, им были инициированы исследования кинетики агрегации асфальтенов методом динамического рассеяния света [31]. В настоящее время разработка новых высокотехнологичных оптических методов исследования коллоидных свойств модельных и природных нефтей является одним из наиболее успешных направлений деятельности его лаборатории [55].

В 1999 году в работе [32] была установлена природа аномальной устойчивости наноразмерных слоистых свободно-подвешенных смектических пленок и механизм их последовательного спонтанного утоньшения при нагревании выше температуры объемного плавления. Полученные результаты пролили свет на причину удивительной устойчивости т.н. черных углеводородных пленок.

В начале двухтысячных годов, в связи с выполнением НИР по договору с компанией «Шлюмберже» (Schlumberger Oilfield Services), Е.Е. Городецкий возвращается к проблеме фазового поведения многокомпонентных углеводородных смесей, в частности к

изучению аномальных термодинамических свойств в окрестности их критических точек жидкость – пар. При этом его глубоко беспокоит, что идея изоморфизма критических явлений продолжает находиться в ранге гипотезы. В это время относительно подавляющего большинства экспериментальных результатов можно было утверждать только то, что они не противоречат гипотезе изоморфизма. Трудность ее прямой проверки была связана со сложным характером искажений критических аномалий различных термодинамических величин даже в простых бинарных растворах. В работе [33] эта гипотеза получила блестящее экспериментальное подтверждение в результате постановки оригинального эксперимента, в ходе которого было впервые проведено прямое измерение изоморфной теплоемкости смеси метан – гептан, т.е. изохорной теплоемкости бинарной смеси при фиксированном значении химического потенциала тяжелой компоненты. Специфика системы метан – гептан позволила также впервые экспериментально изучить кроссовер от критического к трикритическому поведению в жидких смесях [35]. В это же время в лаборатории начинаются экспериментальные и теоретические исследования влияния пористой среды на равновесные и кинетические свойства заполняющих ее флюидов [38].

Начиная с середины 2000-х в лаборатории активно развиваются экспериментальные и теоретические исследования фазового поведения модельных и природных углеводородных смесей в широкой окрестности критических точек жидкость – пар. Сочетание идеи изоморфизма и масштабной (скейлинговой) теории позволило сформулировать универсальное уравнение состояния многокомпонентных флюидов в околоскритической области и показать, что характер критических аномалий не зависит от числа компонент смеси и может служить надежным индикатором близости флюида к критической точке. Разработанный универсальный подход позволил с экспериментальной точностью описать полученные в лаборатории экспериментальные данные по аномальному поведению различных термодинамических производных, интенсивности светорассеяния, фазовому поведению и т.п. в бинарной, тройной и многокомпонентной углеводородных смесях.

В этот же период большое внимание было уделено построению, в рамках ренорм-группового подхода, так называемого масштабного (скейлингового) кроссоверного уравнения состояния, позволяющего значительно расширить область термодинамического описания жидкостей и жидких смесей, т.е. фактически объединить в рамках одной теории узкую околоскритическую область сильно развитых тепловых флуктуаций термодинамических величин с далекой областью, где указанные флуктуации подавлены [39].

В последние годы под руководством Е.Е. Городецкого был разработан новый подход, позволивший адекватно описать сингулярное поведение производной  $(\partial P/\partial T)_{p,x}$  и изохорной теплоемкости в многокомпонентной смеси не только на критической изохоре, но и на изохорах, далеких от критической [42]. Общая теория критических явлений в многокомпонентных жидких растворах и ее экспериментальная проверка представлены в работе [44]. Проверка развитой теории методом статического рассеяния света была выполнена в работе [48]. В работе [49] показано, что температура и давление на пограничных кривых бинарных и многокомпонентных смесей являются в окрестности критической точки жидкость – пар неаналитическими функциями плотности. Этот факт позволил сформулировать и проверить простой алгоритм определения критических параметров смесей непосредственно из экспериментальных данных по их пограничным кривым [52, 58].

С середины 2000-х в лаборатории проводились экспериментальные и теоретические исследования равновесных термодинамических свойств гидратов метана и углекислого газа в объеме и в пористой среде. Результаты определения равновесных свойств гидрата метана в кварцевом порошке микронных размеров представлены в работе [41]. Процесс замещения метана в газовом гидрате углекислым газом экспериментально изучался методом адиабатической калориметрии в работах [43, 46, 47, 53, 54, 57]. Последняя работа Е.Е. Городецкого была посвящена изучению равновесных термодинамических свойств гидрата углекислого газа в пористой среде [59]. Было экспериментально показано, что вблизи верхней квадрупольной точки поведение гидрата углекислого газа существенно модифицируется фактом капиллярной конденсации газа в пористой среде. Игнорирование этого факта приводит к кажущейся существенной температурной зависимости гидратного числа. В указанной работе была впервые измерена теплоемкость гидрата углекислого газа в области двухфазного равновесия гидрат – газ.

В 1998 году Е.Е. Городецкий был награжден медалью «В память 850-летия Москвы», а в 1999 году – Почетной грамотой в связи с 275-летием РАН. Единогласным решением Ученого совета ИПНГ РАН от 25 ноября 2015 года лаборатории фазовых переходов и критических явлений было присвоено имя Евгения Ефимовича Городецкого. Он остался с нами.

---

Сергей Борисович Киселев родился 16 февраля 1951 года в городе Джанкой в Крыму. В том же году семья Киселевых переехала в Евпаторию. Отец, Борис Данилович, и мать, Людмила Антоновна, работали инженерами пищевого производства. В 1968 году Сергей окончил среднюю школу и поступил на теплоэнергетический факультет Московского энергетического института, по окончании которого получил диплом инженера по специальности «теплофизика» и был распределен в Институт высоких температур АН СССР.

В 1975 году Сергей был направлен на работу в подмосковный ВНИИФТРИ, в отдел №12 (руководитель – известный советский теплофизик профессор В.А. Рабинович), входивший в отделение «Низкотемпературная термометрия и теплофизика», в котором работал Е.Е. Городецкий.

Сначала С.Б. Киселев работал в должности инженера, а затем (с 1979 года) – в должности младшего научного сотрудника. С 1977 по 1981 год Сергей Борисович заочно обучался в аспирантуре ВНИИФТРИ (научный руководитель – М.А. Анисимов), по окончании которой защитил кандидатскую диссертацию в ИВТАН СССР по специальности «теплофизика» на тему «Исследование изоморфного уравнения состояния чистых компонентов и бинарных смесей в окрестности линии критических точек жидкость – газ». В 1976 и 1977 годах он был награжден знаком «Победитель социалистического соревнования».

В 1983 году С.Б. Киселев, вслед за другими сотрудниками лаборатории фазовых переходов ВНИИФТРИ, переходит на научную и преподавательскую работу на кафедру физики в МИНХ и ГП имени И.М. Губкина, где сначала работает старшим преподавателем, а с 1986 года – доцентом. Здесь Сергей Борисович читает курсы лекций «Теплофизические свойства веществ» и «Основы физической кинетики и неравновесной термодинамики» и, параллельно, активно занимается наукой, собирая вокруг себя талантливую молодежь. С.Б. Киселев являлся председателем Совета НТО факультета разработки нефтяных и газовых месторождений института и заместителем руководителя Рабочей группы по свойствам веществ в критической области Комиссии по теплофизическим таблицам газов и жидкостей при АН СССР.



С.Б. Киселев  
в середине 80-х  
(из личного дела  
в ИПНГ РАН)

В 1988 году С.Б. Киселев, продолжая активную педагогическую деятельность на кафедре физики МИНГ имени И.М. Губкина, переходит на работу в Отдел физических проблем ИПНГ АН СССР и ГКНО СССР. Здесь он возглавил группу из пяти научных сотрудников и четырех аспирантов, работающую по теме «Исследование уравнения состояния и методов расчета термодинамических свойств и фазового поведения воды и бинарных углеводородных систем в критической области». Под его руководством разрабатывается математическая модель процесса сверхкритической экстракции углеводородов в пористой среде. С конца 1989 года С.Б. Киселев работает в должности ведущего научного сотрудника ИПНГ.

В 1990 году в ИВТАН СССР С.Б. Киселев защищает докторскую диссертацию на тему «Универсальный кроссоверный подход к описанию термодинамических и кинетических свойств жидкостей и жидких растворов в критической области» и получает ученую степень доктора физико-математических наук (специальность «теплофизика и теоретическая теплотехника»).

Оставаясь в штате ИПНГ РАН, в 1992–1993 годах С.Б. Киселев работает в качестве приглашенного профессора-исследователя (Guest Researcher – Visiting Professor) в Институте физических наук и технологий при Мэрилендском университете (США) в научной группе Яна Сенгерса, занимающейся критическими явлениями в жидкостях и жидких смесях.

До 1995 года С.Б. Киселев состоял профессором кафедры физики МИНГ имени И.М. Губкина и ведущим научным сотрудником лаборатории фазовых переходов и критических явлений ИПНГ РАН. В это время под его руководством кандидатами физико-математических наук стали М.Ю. Беляков, А.А. Поводырев и Х.С. Абдулкадирова. Первый ныне работает в ИПНГ РАН, двое других – в США.

С 1995 по 1998 год С.Б. Киселев работал в Отделении физико-химических свойств Национального института стандартов и технологий США в Боулдере, штат Колорадо (Physical and Chemical Properties Division, National Institute of Standards and Technology, Boulder, Co, USA), в качестве приглашенного исследователя (Guest Researcher) в группе доктора Jim Rainwater (сына нобелевского лауреата по физике 1975 года), а с 1998 по 2008

год – на факультете химической и биологической инженерии в Горной школе Колорадо (Department of Chemical and Biological Engineering, Colorado School of Mines, Golden, CO, USA) в качестве ассоциированного профессора-исследователя (Research Associate Professor) в группе декана факультета профессора Jim Ely.

За успешную работу в Отделении физико-химических свойств NIST С.Б. Киселев был награжден Дипломом за вклад в разработку достоверных (reference) уравнений состояния технологически важных флюидов в широком диапазоне температур и давлений, включая критическую и сверхкритическую области. Эти уравнения состояния легли в основу разработанной в NIST программы расчета теплофизических и транспортных свойств жидкостей и жидких смесей REFPROP, получившей всемирное признание, в том числе и в России. Основные работы С.Б. Киселева в Национальном институте стандартов США были связаны с использованием идей теории скейлинга и изоморфизма критических явлений в чистых веществах и бинарных системах для повышения точности расчетов термодинамических и транспортных свойств технологически важных веществ. Разработанная с его участием универсальная программа расчета термодинамических свойств целого класса технологически важных флюидов и смесей CREOS, основанная на кроссоверных уравнениях состояния, до сих пор успешно используется в различных лабораториях мира. В Отделении физико-химических свойств NIST Сергей Борисович пользовался большим авторитетом среди коллег, тесно сотрудничал практически со всеми членами коллектива и был соавтором совместных работ, опубликованных в самых престижных международных научных журналах с высоким импакт-фактором. Перейдя в Горную школу Колорадо, С.Б. Киселев продолжил активную работу в области разработки скейлингового типа кроссоверных уравнений состояния для сложных многокомпонентных систем.

Работая в США, профессор С.Б. Киселев проявил себя как один из наиболее авторитетных в мире экспертов в области кроссоверных уравнений состояния и моделирования термодинамических и транспортных свойств чистых флюидов и бинарных смесей в критической и сверхкритической областях. Как ведущий специалист в области критических явлений, С.Б. Киселев постоянно привлекался к рецензированию статей в журналах Американского химического общества (ACS), издательствах Spiegel, Elsevier, диссертаций, а также к участию в крупных научных проектах, представленных на финансирование в Министерство энергетики США. Работа Сергея Борисовича в Национальном институте стандартов и технологий США и в Горной школе Колорадо оказалась наиболее продуктивным

периодом в его научной биографии. Просмотрев список его публикаций за это время (Приложение 2), приходишь к выводу, что здесь С.Б. Киселев вполне мог бы считаться «Победителем капиталистического соревнования».

Сергей Борисович Киселев внес значительный вклад в теоретическую и прикладную термодинамику околокритических и сверхкритических флюидов. Он является автором большого числа публикаций в ведущих западных научных журналах с высоким импакт-фактором, таких как *Fluid Phase Equilibria* (18), *International Journal of Thermophysics* (16), *The Journal of Chemical Physics* (12), *Industrial & Engineering Chemistry Research* (6), *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* (4) и др.

На протяжении многих лет С.Б. Киселев занимался разработкой уравнения состояния жидкостей и жидких смесей в рамках масштабной теории (скейлинга), принципа изоморфизма критических явлений в сочетании с так называемым расширенным принципом соответственных состояний. Кроме того, он серьезно изучал проблему построения кроссовера от сингулярного критического к классическому термодинамическому поведению.

В начале девяностых, еще работая в ИПНГ РАН в Москве, С.Б. Киселев вместе со своими учениками предложил феноменологическое параметрическое кроссоверное уравнение состояния, которое позволило существенно расширить область описания термодинамических свойств околокритических флюидов [22, 24].

В середине девяностых, сотрудничая с коллегами из Мэрилендского университета, он сравнил свою формулировку кроссоверной теории с теоретико-полевым подходом, разработанным в рамках модели GLW (Гинзбурга – Ландау – Вильсона) в этом университете группой Яна Сенгерса. Результатом этого сотрудничества явилась работа [27] – наиболее цитируемая в мире статья по кроссоверу вблизи критической точки жидкость – пар чистого вещества.

В эти же годы в работах [34, 45] С.Б. Киселев, совместно с одним из нас (В.Д. Куликовым), предложил оригинальный подход к описанию кроссоверного поведения транспортных свойств в околокритических жидкостях и жидких смесях. Развитый подход, демонстрирующий, как сингулярное околокритическое поведение трансформируется в регулярное при удалении от критической точки, основан на использовании известных формул Кубо для кинетических коэффициентов в рамках так называемого «приближения развязанных мод». Особенность указанного подхода, позволившая существенно упростить аналитические выражения, состояла в использовании факта малости отношения изохорной к

изобарной теплоемкости флюида в окрестности критической точки жидкость – пар. Данная кроссоверная модель была успешно применена для описания транспортных (теплопроводность и вязкость), термодинамических (кроссоверное уравнение состояния) и поверхностных (поверхностное натяжение) свойств ассоциированных флюидов (спирты) [85].

Одним из главных достижений С.Б. Киселева явилась формулировка феноменологического обобщения параметрического уравнения состояния линейной модели [44]. Феноменологическое параметрическое кроссоверное уравнение состояния Киселева успешно использовалось им и его учениками для описания термодинамического поведения большого числа смесей в широкой окрестности их критических точек, включая двуокись углерода [24], углеводороды [24, 32, 44], обычную и тяжелую воду [54, 57]. С.Б. Киселёв и его коллеги успешно использовали в развиваемом ими кроссоверном подходе сочетание принципа изоморфизма с принципом соответственных состояний [46, 51, 52].

В последние годы работы в США С.Б. Киселев активно внедрял свою кроссоверную теорию в различные уравнения состояния жидкостей и жидких смесей, сотрудничая с коллегами из Национального института стандартов и технологий США (J.C. Rainwater, M.L. Huber, D.G. Friend, R.A. Perkins, J.W. Magee, M. Haynes, И.М. Абдулагатов и др.) [52, 54, 56, 57, 59] и из Горной школы Колорадо (J.F. Ely, L. Sun, C. McCabe, M. Radosz и др.) [65, 86]. В частности, в работе [56] С.Б. Киселев и D.G. Friend показали, каким образом критические флуктуации могут быть учтены в кубических уравнениях состояния, широко используемых в инженерной практике. Вместе с L. Lue [61] он продемонстрировал, как эта теория может быть применена к растворам полимеров. Киселев и Ely [77, 90, 92] модифицировали кроссоверную процедуру путем замены параметрического уравнения состояния асимптотической линейной модели на тригонометрическое параметрическое уравнение состояния, допускающего экстраполяцию в метастабильную область. С.Б. Киселев вместе с коллегами [88] показал, как кроссоверная теория может быть инкорпорирована в различные версии уравнения SAFT (Statistical Associating Fluid Theory). В работе [63] С.Б. Киселев совместно с J.F. Ely и L. Sun усовершенствовали кроссоверную процедуру для разработки многопараметрического уравнения состояния, применимого в очень широком диапазоне температур и плотностей. Еще одним важным достижением С.Б. Киселева с коллегами является применение его метода для учета критических флуктуаций в

теории статистически ассоциированных жидкостей, содержащих водородные связи, типа воды, метанола и углеводов [55, 65, 66, 70, 81, 82, 87, 88].

С.Б. Киселеву принадлежит идея разработки универсальной теории кроссоверных явлений, позволяющей объединить любое аналитическое в критической точке уравнение состояния (например, кубическое уравнение Ван-дер-Ваальса или многопараметрическое уравнение состояния типа В. Вагнера и т.д.) с масштабным (скейлинговым) уравнением состояния.

Наконец, еще одним признанным международным научным сообществом достижением С.Б. Киселева является четкое определение физического предела стабильности в жидкостях, т.е. термодинамической спинодали («кинетической спинодали»), включая применение к переохлажденной воде [68].

С.Б. Киселева всегда глобально подходил к решению задач, связанных с разработкой и применением кроссоверных уравнений состояния. Он обладал уникальной интуицией и умел быстро находить правильное решение для любой проблемной ситуации. При разработке своих кроссоверных уравнений состояния он стремился выяснить, как особые аномальные термодинамические свойства флюидов вблизи критической точки могут быть использованы для решения многих практических задач, например для сверхкритической флюидной экстракции, критической адсорбции, сверхкритической технологии вытеснения нефти (фильтрации в сверхкритических условиях) и т.д. Успех разработанных им кроссоверных уравнений состояния объясняется тем, что они базируются на основных физических принципах и физически обоснованной теории критических явлений.

Несмотря на то, что последние десять лет С.Б. Киселев не мог заниматься наукой по причине болезни, его индекс Хирша научной цитируемости стремительно рос и на конец 2016 года составил 32, что соответствует уровню выдающегося американского университетского профессора. При этом число цитирований его статьи (соавторы: М.А. Анисимов и Ян Сенгерс) [27] о кроссовере в рамках модели GLW превышает 260, со средним числом цитирований в год более 10. К наиболее часто цитируемым статьям С.Б. Киселева (с числом цитирований в год более пяти) относятся также работы [47, 55, 56, 77, 81, 82, 88].

Можно уверенно сказать, что С.Б. Киселев является одним из создателей современной теории околокритических флюидов, а результаты, полученные им, стали классическими при его жизни. Обсуждение вклада С.Б. Киселева в построение теории кроссо-

верных явлений в окологритических флюидах содержится в обзоре: *Behnejad H., Sengers J.V., Anisimov M.A.* Thermodynamic behavior of fluids near critical points (in: Applied Thermodynamics of Fluids / eds A.R.H. Goodwin, J.V. Sengers, C.J. Peters. Cambridge: RSC Publ., 2010), а оценка его вклада в изучение критического кроссоверного поведения транспортных свойств содержится в обзоре: *Sengers J.V., Perkins R.A.* Fluids near critical points (in: Experimental thermodynamics. Vol. IX. Advances in transport properties of fluids / eds M.J. Assael, A.R.H. Goodwin, V. Vesovic, W.A. Wakeham. Cambridge: RSC Publ., 2014).

Сергей был не только чрезвычайно серьезным, упорным и целеустремленным ученым, но и веселым, жизнерадостным человеком, надежным другом. Именно таким он останется в нашей памяти. А его работы, в большом количестве лежащие у нас на столе, говорят о том, что он от нас никуда и не ушел.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ Е.Е. ГОРОДЕЦКОГО

#### Конец 60-х годов

1. *Гитерман М.Ш., Городецкий Е.Е.* О поведении кинетических коэффициентов вблизи критической точки чистых жидкостей // ЖЭТФ, **56**, 635 (1969).
2. *Гитерман М.Ш., Городецкий Е.Е.* Кинетические явления вблизи критической точки бинарных смесей // ЖЭТФ, **57**, 637 (1969).

#### 1970 – 1979 гг.

3. *Анисимов М.А., Воронель А.В., Городецкий Е.Е.* Изоморфизм критических явлений // ЖЭТФ, **60**, 1117 (1971).
4. *Анисимов М.А., Городецкий Е.Е., Кияченко Ю.Ф.* Влияние аномалии кинетических коэффициентов вблизи критической точки на скорость распространения высокочастотного звука // ЖЭТФ, **62**, 1944 (1972).
5. *Анисимов М.А., Городецкий Е.Е., Шмаков Н.Г.* Экспериментальная проверка гипотезы изоморфизма критических явлений // ЖЭТФ, **63**, 2165 (1972).

6. *Городецкий Е.Е., Микулинский М.А.* Фазовые переходы в двухкомпонентных системах // ЖЭТФ, **66**, 986 (1974).
7. *Берестов А.Т., Городецкий Е.Е., Запрудский В.М.* Природа сингулярности кривой сосуществования вблизи критической точки // Письма в ЖЭТФ, **21**, 56 (1975).
8. *Городецкий Е.Е., Запрудский В.М.* Фазовые переходы в системах с двумя параметрами порядка // ЖЭТФ, **69**, 1013 (1975).
9. *Городецкий Е.Е., Запрудский В.М.* Сингулярности термодинамических величин вблизи трикритических точек // ЖЭТФ, **72**, 2299 (1977).
10. *Городецкий Е.Е., Запрудский В.М.* Возможность перехода второго рода при жидкокристаллическом упорядочении // ЖЭТФ, **74**, 202 (1978).

**1980 – 1989 гг.**

11. *Анисимов М.А., Городецкий Е.Е., Запрудский В.М.* Фазовые переходы с взаимодействующими параметрами порядка // УФН, **133**, 103 (1981).
12. *Городецкий Е.Е., Евтюшенков А.М., Есипов В.С., Кияченко Ю.Ф.* Исследование интенсивности молекулярного рассеяния света в жидкостях // ЖЭТФ, **81**, 588 (1981).
13. *Анисимов М.А., Городецкий Е.Е., Евтюшенков А.М., Кияченко Ю.Ф.* Экспериментальная проверка формулы Эйнштейна для коэффициента молекулярного рассеяния света // Оптика и спектроскопия, **54**, 505 (1983).
14. *Анисимов М.А., Городецкий Е.Е., Поднек В.Э.* Влияние смектических флуктуаций на предпереходные явления в изотропной фазе нематического жидкого кристалла // Письма в ЖЭТФ, **37**, 352 (1983).
15. *Анисимов М.А., Воронов В.П., Гольденштейн А.С., Городецкий Е.Е., Кияченко Ю.Ф., Меркулов В.М.* Универсальность критической динамики нематических жидких кристаллов // ЖЭТФ, **87**, 1969 (1984).
16. *Городецкий Е.Е., Поднек В.Э.* Новая модель фазовых переходов в жидких кристаллах // Кристаллография, **29**, 1054 (1984).
17. *Городецкий Е.Е., Поднек В.Э.* Смектические флуктуации в приближении Орнштейна – Цернике // Письма в ЖЭТФ, **39**, 513 (1984).
18. *Городецкий Е.Е., Поднек В.Э.* Пространственная размерность решетки жидких кристаллов // Письма в ЖЭТФ, **41**, 244 (1985).

19. *Анисимов М.А., Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Поднек В.Э., Холмуродов Ф.* Обнаружение эффекта Гальперина – Любенского – Ма в жидком кристалле // Письма в ЖЭТФ, **45**, 336 (1987).
20. *Городецкий Е.Е., Евтюшенков А.М, Кияченко Ю.Ф., Крюков А.В., Рытов С.М.* Релеевское рассеяние света в стеклах // ЖЭТФ, **92**, 1401 (1987).
21. *Gorodetskii E.E., Podnek V.E.* Hartree version of the Lifshitz NAC point // Phys. Lett. A, **136**, 233 (1989).
22. *Anisimov M.A., Cladis P.E., Gorodetskii E.E., Huse D.A., Podneks V.E., Taratuta V.G., van Saarloos W., Voronov V.P.* Experimental test of a fluctuation-induced first-order phase transition: The nematic-smectic-A transition // Phys. Rev. A, **41**, 6749 (1990).

**1990 – 1999 гг.**

23. *Anisimov M.A., Gorodetsky E.E., Davydov A.J., Kurliandsky A.S.,* A Novel Mesoscopic Model for Micellization and Formation of Liquid Crystalline Phases in Surfactant Solutions // Mol. Cryst. Liq. Cryst., **221**, 71 (1992).
24. *Anisimov M.A., Gorodetsky E.E., Davydov A.J., Kurliandsky A.S.,* Interfacial tension of critical liquid mixtures in the presence of a surfactant // Int J Thermophys, **13**, 921 (1992).
25. *Anisimov M.A., Gorodetsky E.E., Davydov A.J., Kurliandsky A.S.,* Landau model for self-assembly and liquid crystal formation in surfactant solutions // Liquid Crystals, **11**, 941 (1992).
26. *Anisimov M.A., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Sengers J.V.* A joint description of vapor-liquid and consolute critical phenomena // Письма в ЖЭТФ, **60**, 522 (1994).
27. *Anisimov M.A., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Povodyrev A.A., Sengers J.V.* A general isomorphism approach to thermodynamic and transport properties of binary fluid mixtures near critical points // Physica A, **220**, 227 (1995).
28. *Anisimov M.A., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Sengers J.V.* Crossover between vapor-liquid and consolute critical phenomena // Phys. Rev. E, **51**, 1199 (1995).
29. *Городецкий Е.Е., Куликов В.Д., Федюнина Л.В., Анисимов М.А.* Изоморфное описание двухфазной области околоскритических бинарных растворов // ЖЭТФ, **111**, 120 (1997).

30. *Anisimov M.A., Agayan V.A., Povodyrev A.A., Sengers J.V., Gorodetskii E.E.* Two exponential decay of dynamic light-scattering in near-critical fluid mixtures // *Phys. Rev. E*, **57**, 1946 (1998).
31. *Yudin I.K., Nikolaenko G.L., Gorodetskii E.E., Marhashov E.L., Agayan V.A., Anisimov M.A., Sengers J.V.* Crossover kinetics of asphaltenes aggregation in hydrocarbon solutions // *Physica A*, **251**, 235 (1998).
32. *Городецкий Е.Е., Пикина Е.С., Поднек В.Э.* Дискретное утоньшение свободно-подвешенных смектических пленок в модели де Жена "пре-смектической жидкости" // *ЖЭТФ*, **115**, 61 (1999).

**2000 – 2009 гг.**

33. *Воронов В.П., Городецкий Е.Е.* Прямая экспериментальная проверка гипотезы изоморфности критических явлений // *Письма в ЖЭТФ*, **72**, 740 (2000).
34. *Anisimov M.A., Gorodetskii E.E., Agayan V.A.* Scaling and crossover to tricriticality in polymer solutions // *Письма в ЖЭТФ*, **72**, 578 (2002).
35. *Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Берестов А.Т.* Аномалия теплоемкости в окрестности трикритической и верхних критических точек // *ЖЭТФ*, **124**, 105 (2003).
36. *Gorodetskii E.E., Voronov V.P.* Three-phase equilibrium and tricritical phenomena in the methane-pentane-heptane mixture // *J. Physics: Condensed Matter*, **26F**, 178 (2003).
37. *Hager J.S., Anisimov M.A., Gorodetskii E.E., Sengers J.V.* Scaling of demixing curves and crossover from critical to tricritical behavior on polymer solutions // *J. Chem. Phys.*, **117**, 5940 (2003).
38. *Voronov V.P., Belyakov M.Yu., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Muratov A.R., Nagaev V.B.* Phase behavior of methane-pentane mixture in bulk and in porous media // *Transport in porous media*, **52**, 123 (2003).
39. *Belyakov M.Yu., Gorodetskii E.E.* Universal crossover approach to equation of state for fluids // *Int. J. Thermophys.*, **27**, 1387 (2006).
40. *Беляков М.Ю., Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Куликов В.Д.* Аномалия термодинамических свойств смесей в окрестности критической точки жидкость – пар // *Письма в ЖЭТФ*, **86**, 22 (2007).

41. *Gorodetskii E.E., Voronov V.P., Safonov S.S.* Thermodynamic properties of methane hydrate in quartz powder // *J. Phys. Chem.*, **111**, 11486 (2007).
42. *Беляков М.Ю., Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Куликов В.Д.* Термодинамические свойства многокомпонентных смесей в окрестности критической точки жидкость – пар // *Письма в ЖЭТФ*, **88**, 351 (2008).
43. *Городецкий Е.Е., Воронов В.П., Муратов А.Р., Сафонов С.С.* Экспериментальное исследование процесса замещения метана в газовом гидрате углекислым газом // *ДАН*, **429**, 57 (2009).
44. *Belyakov M.Yu., Voronov V.P., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D.* Phase behavior and anomalies of thermodynamic properties in a multi-component near-critical fluid mixture // *Chem. Phys.*, **362**, 85 (2009).

**2010 – 2016 гг.**

45. *Городецкий Е.Е., Дешабо В.А., Косов В.И., Курьяков В.Н., Юдин И.К., Юдин Д.И., Григорьев Б.А., Петрова Л.М.* Исследование устойчивости и кинетики агрегации тяжелых фракций в нефтях Урус-Тамакского месторождения // *Вести газовой науки: сб. науч. ст. ВНИИГАЗ. 2010. №1(4). С. 240.*
46. *Voronov V.P., Gorodetskii E.E., Muratov A.R.* Experimental study of methane replacement in gas hydrate by carbon dioxide // *J. Phys. Chem. B*, **114**, 12314 (2010).
47. *Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Григорьев Б.А., Муратов А.Р.* Экспериментальное исследование процесса замещения метана в газовом гидрате диоксидом углерода // *Вести газовой науки: сб. науч. ст. ВНИИГАЗ. 2011. № 2 (7). С. 235.*
48. *Belyakov M.Yu., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Kuryakov V.N., Yudin I.K.* Light-scattering anomaly in the vicinity of liquid-vapor critical point // *Chem. Phys.*, **379**, 123 (2011).
49. *Беляков М.Ю., Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Григорьев Б.А., Дешабо В.А., Косов В.И., Куликов В.Д., Курьяков В.Н., Юдин И.К., Юдин Д.И.* Термодинамика многокомпонентных смесей в окрестности критической точки жидкость-пар // *ТВТ*, **50**, 514 (2012).
50. *Городецкий Е.Е., Куликов В. Д., Воронов В. П., Григорьев Б.А.* Скачки различных термодинамических производных на границе двухфазной области // *Вести газовой науки: сб. науч. ст. ВНИИГАЗ. 2012. № 3 (11). С. 6.*

51. Городецкий Е.Е., Курьяков В.Н., Юдин И.К., Дешабо В.А., Косов В.И., Юдин Д.И. Исследование устойчивости и кинетики агрегации тяжелых фракций в модельных системах и природных нефтях // Георесурсы, геознергетика, геополитика. Электрон. научн. журнал. 2012. 2(6). Режим доступа [http://oilgasjournal.ru/vol\\_6/gorodetsky.html](http://oilgasjournal.ru/vol_6/gorodetsky.html)
52. Belyakov M.Yu., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Muratov A.R., Voronov V.P., Grigoriev B.A., Volkov A.N. Anomalous properties of dew-bubble curves in the vicinity of liquid-vapor critical point // Fluid Phase Equilib., **358**, 91 (2013).
53. Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Муратов А.Р., Поднек В.Э. Исследование замещения метана, содержащегося в гидрате, углекислым газом при циклическом добавлении углекислого газа и откачке газовой смеси, сосуществующей с гидратом // Георесурсы, геознергетика, геополитика. Электрон. научн. журнал. 2014. 1(9). Режим доступа [http://oilgasjournal.ru/vol\\_9/gorodetsky.html](http://oilgasjournal.ru/vol_9/gorodetsky.html)
54. Воронов В.П., Городецкий Е.Е., Муратов А.Р., Поднек В.Э., Григорьев Б.А. Равновесные свойства гидрата двуокиси углерода в пористых средах // Вести газовой науки: сб. науч. ст. ВНИИГАЗ. 2014. № 2 (18). С. 135.
55. Anisimov M.A., Ganeeva Yu.M., Gorodetskii E.E., Deshabo V.A., Kosov V.I., Kuryakov V.N., Yudin D.I., Yudin I.K. Effects of resins on aggregation and stability of asphaltenes // Energy Fuels., **28**, 6200 (2014).
56. Belyakov M.Yu., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Voronov V.P., Grigoriev B.A. Scaled equation of state for multi-component fluids // Chem. Phys., **445**, 53 (2014).
57. Voronov V.P., Gorodetskii E.E., Muratov A.R., Study of methane replacement in hydrates by carbon dioxide in a cyclic process // Journal of Natural Gas Science and Engineering, **21**, 1107 (2014).
58. Belyakov M.Yu., Gorodetskii E.E., Kulikov V.D., Voronov V.P., Grigoriev B.A. Scaled equation of state and specific thermodynamic behavior of near-critical methane-pentane binary mixture // Fluid Phase Equilib., **418**, 44 (2016).
59. Voronov V.P., Gorodetskii E.E., Podnek V.E., Grigoriev B.A. Properties of equilibrium carbon dioxide hydrate in porous medium // Chem. Phys., **476**, 61 (2016).

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ СТАТЬИ Е.Е. ГОРОДЕЦКОГО  
В ЖУРНАЛЕ «КВАНТ» (1985 – 1991 гг.)**

60. Городецкий Е., Есинов В. [Конвекция и самоорганизующиеся структуры](#) // Квант, №9, 1985, с. 8–13.
61. Городецкий Е. [Энергия электрического поля](#) // Квант, №5, 1986, с.21–23.
63. Городецкий Е. [О явлениях переноса](#) // Квант, №9, 1986, с. 27–29.
64. Городецкий Е. [Силы молекулярного взаимодействия](#) // Квант, №1, 1987, с. 31–34.
65. Городецкий Е. [Гармонические колебания и равновесие](#) // Квант, №9, 1987, с. 42–44.
66. Городецкий Е. [Закон всемирного тяготения](#) // Квант, №11, 1987, с. 36–38.
67. Городецкий Е., Липидес А. [Интерференция и интерферометры](#) // Квант, №1, 1988, с. 39–41.
68. Городецкий Е. [Закон сохранения энергии](#) // Квант, №5, 1988, с. 45–47.
69. Городецкий Е. [Абсолютная температура](#) // Квант, №9, 1988, с. 60–62.
70. Городецкий Е. [Основная задача кинематики](#) // Квант, №9, 1988, с. 58–60.
71. Городецкий Е. [Гармонические колебания](#) // Квант, №11, 1988, с. 64–68.
72. Городецкий Е. [Сколько бывает состояний у вещества?](#) // Квант, №1, 1989, с. 47–49.
73. Городецкий Е. [Дифракция света на круглом отверстии](#) // Квант, №11, 1989, с. 46–48.
74. Городецкий Е. [Симметрия и физические свойства кристаллов](#) // Квант, №11, 1989, с. 44–46.
75. Городецкий Е. [Идеальный газ – универсальная физическая модель](#) // Квант, №9, 1991, с. 33–36.

## ИЗБРАННЫЕ НАУЧНЫЕ ТРУДЫ С.Б. КИСЕЛЕВА

## Конец 70-х годов

1. Берестов А.Т., Киселев С.Б. О возможности сшивки масштабного уравнения состояния и вириального разложения // ТВТ, **17**, 1202 (1979).

## 1980 – 1989 гг.

2. Адамов Ш.П., Анисимов М.А., Киселев С.Б., Рабинович В.А., Смирнов В.А. Исследование уравнения состояния бинарных смесей вблизи линии критических точек жидкость – газ // ТВТ, **18**, 1115 (1980).
3. Киселев С.Б. Вычисление эффективного коэффициента поглощения лучистых тепловых потоков полости с диффузным отражением стенок // Инж.-физ. журн., **39**, 113 (1980).
4. Анисимов М.А., Берестов А.Т., Киселев С.Б. Изоморфное уравнение состояния в широкой окрестности критической точки бинарной смеси // ЖЭТФ, **82**, 1147 (1982).
5. Киселев С.Б., Краев О.А. Теоретическое и экспериментальное исследование коэффициента поглощения различных моделей черного тела // Инж.-физ. журн., **43**, 822 (1982).
6. Киселев С.Б. Теория абсолютного сверхпроводящего болометрического приемника теплового излучения // Инж.-физ. журн., **47**, 432 (1984).
7. Kiselev S.B., Popov O.B., Tkachenko S.A., Eldarov F.G. Experimental device for the meteorological study of the supercooling thermal radiation detectors // Heat Trans. Sov. Res., **16**, 128 (1984).
8. Anisimov M.A., Kiselev S.B., Kostyukova I.G. A Scaled equation of state for real fluids in the critical region // Int. J. Thermophys., **6**, 465 (1985).
9. Анисимов М.А., Киселев С.Б., Костюкова И.Г. Универсальное описание изохорной теплоемкости бинарных растворов в окрестности линии критических точек равновесия жидкость – газ // ТВТ, **24**, 875 (1986).

10. *Киселев С.Б.* Асимметричное масштабное уравнение и поведение реальной жидкости в критической области, включая метастабильное состояние // ТВТ, **24**, 500 (1986).
11. *Anisimov M.A., Kiselev S.B., Kostyukova I.G., Rabinovich V.A.* The scaled equation for thermal conductivity of steam in a broad vicinity of the critical point // Proceedings of the 10th International conference on the properties of steam, Moscow, USSR, 3–7 September 1984. М., 1986, vol. 1, p. 435.
12. *Анисимов М.А., Киселев С.Б., Костюкова И.Г.* Масштабное уравнение состояния и термодинамические свойства воды в критической области // ТВТ, **25**, 31 (1987).
13. *Anisimov M.A., Kiselev S.B.* Thermophysical properties of liquids and liquid solutions in the critical region // Sov. Tech. Rev. B. – Therm. Phys., Vol. 1, Gordon and Breach, Philadelphia, 1987, p. 337–424.
14. *Киселев С.Б.* Масштабное уравнение состояния однокомпонентных жидкостей и бинарных растворов в критической области // ТВТ, **26**, 466 (1988).
15. *Киселев С.Б., Халидов С.Э., Юдин А.В.* Изохорная теплоемкость системы метан – этан в широкой окрестности линии критических точек жидкость – газ // Инж.-физ. журн., **54**, 797 (1988).
16. *Anisimov M.A., Kiselev S.B., Khalidov S.E.* Scaled equation for isochoric heat capacity of methane-ethane mixture in critical region // Int. J. Thermophys., **9**, 454 (1988).
17. *Anisimov M.A., Kiselev S.B., Kostyukova I.G.* Asymmetric scaled equation of state and critical behavior of binary mixtures // J. Heat Trans., **110**, 986 (1988).
18. *Бочков М.М., Киселев С.Б., Мурсалов Б.А., Поводырев А.А.* Критическое поведение изохорной теплоемкости разбавленных растворов в воде // ТВТ, **27**, 262 (1989).
19. *Киселев С.Б., Костюкова И.Г., Якимова Л.В.* Спинодаль и линия максимумов изотермической сжимаемости воды в критической области // ТВТ, **27**, 876 (1989).
20. *Anisimov M.A., Bochkov M.M., Kiselev S.B., Povodyrev A.A.* Critical behavior of the isochoric heat capacity of aqueous dilute solutions // Properties of water and steam: proc. 11th Int. conf., Prague, 1989, p. 189.
21. *Anisimov M.A., Kiselev S.B., Kostyukova I.G., Fedyunina L.V.* Crossover equation of state for critical steam including metastable region // Properties of water and steam: proc. 11th Int. conf., Prague, 1989, p. 175.

1990 – 1999 гг.

22. *Киселев С.Б.* Универсальная кроссоверная функция для свободной энергии однокомпонентных и двухкомпонентных флюидов в критической области // ТВТ, **28**, 47 (1990).
23. *Абдулкадирова Х.С., Киселев С.Б., Костюкова И.Г., Федюнина Л.В.* Уравнения состояния и термодинамические свойства двуокиси углерода и аргона в критической области // Инж.-физ. журн., **61**, 117 (1991).
24. *Kiselev S.B., Kostyukova I.G., Povodyrev A.A.* Universal crossover behavior of fluids and fluid mixtures in the critical region // Int. J. Thermophys., **12**, 877 (1991).
24. *Kiselev S.B., Kostyukova I.G., Povodyrev A.A.* Universal crossover behavior of fluids and fluid mixtures in the critical region // Int. J. Thermophys., **12**, 877 (1991).
25. *Anisimov M.A., Kiselev S.B.* Transport properties of critical dilute solutions // Int. J. Thermophys., **13**, 873 (1992).
26. *Anisimov M.A., Kiselev S.B.* Universal crossover approach to description of thermodynamic properties of fluids and fluid mixtures // Sov. Tech. Rev. B. – Therm. Phys., vol. 3, pt 2, Philadelphia, 1992, p. 1–119.
27. *Anisimov M.A., Kiselev S.B., Sengers J.V., Tang S.* Crossover approach to global critical phenomena in fluids // Physica A, **188**, 487 (1992).
26. *Belyakov M.Yu., Kiselev S.B.* Crossover behavior of the susceptibility and the heat capacity near a second-order phase transition // Physica A, **190**, 75 (1992).
29. *Kiselev S.B., Povodyrev A.A.* An isomorphic generalization of the law of the corresponding states // Fluid Phase Equilib., **79**, 33 (1992).
30. *Беляков М.Ю., Киселев С.Б., Муратов А.Р.* Термодинамические свойства в широкой окрестности критической точки // ЖЭТФ, **104**, 2785 (1993).
31. *Kiselev S.B., Kostyukova I.G.* Spinodal and kinetic boundary of metastable region // J. Chem. Phys., **98**, 6455 (1993).
32. *Kiselev S.B., Sengers J.V.* An improved parametric crossover model for the thermodynamic properties of fluids in the critical region // Int. J. Thermophys., **14**, 830 (1993).
33. *Povodyrev A.A., Kiselev S.B., Anisimov M.A.* Thermodynamic behavior of mixtures of methane and ethane in the critical region // Int. J. Thermophys., **14**, 1187 (1993).
34. *Kiselev S.B., Kulikov V.D.* Crossover behavior of the transport coefficients of critical binary mixtures // Int. J. Thermophys., **15**, 283 (1994).

35. *Беляков М.Ю., Киселев С.Б., Муратов А.Р.* Кроссоверное поведение адсорбции, поверхностного натяжения и профиля параметра порядка в критической области // ТВТ, **33**, 707 (1995).
36. *Belyakov M.Yu., Kiselev S.B., Muratov A.R.* Adsorption, order-parameter profile and surface tension in the critical region // Proceedings of the 4th Asian thermophysical properties conference / ed. A. Nagashima, Tokyo, 1995, vol. 1, p. 699.
37. *Kiselev S.B., Levelt Sengers J.M.H., Zheng Q.* Physical limit to the stability of superheated and stretched water // Physical chemistry of aqueous system: meeting the needs of industry: proc. 12th Int. conf. on the properties of water and steam / ed. H.J. White, Jr., J.V. Sengers, D.B. Neumann, J.C. Bellows. N. Y., 1995, p. 378.
38. *Kiselev S.B., Povodyrev A.A.* Transport properties of carbon dioxide and ethane mixtures // Proceedings of the 4th Asian thermophysical properties conference / ed. A. Nagashima, Tokyo, 1995, vol. 1, p. 851.
39. *Киселев С.Б., Поводырев А.А.* Кроссоверное поведение бинарных растворов в критической области // ТВТ, **34**, 626 (1996).
40. *Abdulagatov I.M., Kiselev S.B., Levina L.N., Zakaryaev Z.R., Mamchenkova O.N.* Experimental and theoretical studies of the crossover behavior of the specific heat  $C_{v,x}$  of ethane, propane and their mixture at critical isochore // Int. J. Thermophys., **17**, 423 (1996).
41. *Povodyrev A.A., Jin G.X., Kiselev S.B., Sengers J.V.* Crossover equation of state for the thermodynamic properties of mixtures of methane and ethane in the critical region // Int. J. Thermophys., **17**, 909 (1996).
42. *Захаров А.С., Качалов В.В., Киселев С.Б., Черномырдин А.В., Шпильрайн Э.Э.* Физическое моделирование процессов вытеснения углеводородных систем из пористой среды водой при критических условиях // ТВТ, **35**, 99 (1997).
43. *Belyakov M.Yu., Kiselev S.B., Rainwater J.C.* Crossover Leung-Griffiths model and the phase behavior of dilute aqueous ionic solutions // J. Chem. Phys., **107**, 3085 (1997).
44. *Kiselev S.B.* Prediction of the Thermodynamic properties and the phase behavior of binary mixtures in the extended critical region // Fluid Phase Equilib., **128**, 1 (1997).
45. *Kiselev S.B., Kulikov V.D.* Thermodynamic and transport properties of fluids and fluid mixtures in the extended critical region // Int. J. Thermophys., **18**, 1143 (1997).
46. *Kiselev S.B., Rainwater J.C.* Extended law of corresponding states and thermodynamic

- properties of binary mixtures in and beyond the critical region // *Fluid Phase Equilib.*, **141**, 129 (1997).
47. *Kiselev S.B.* Cubic crossover equation of state // *Fluid Phase Equilib.*, **147**, 7 (1998).
  48. *Kiselev S.B., Belyakov M.Yu., Rainwater J.C.* Crossover Leung-Griffiths model and the phase behavior of binary mixtures with and without chemical reaction // *Fluid Phase Equilib.*, **150–151**, 439 (1998).
  49. *Kiselev S.B., Huber M.L.* Thermodynamic properties of R32 + R134a and R125 + R32 mixtures in and beyond the critical region // *Int. J. Refrigeration*, **21**, 64 (1998).
  50. *Kiselev S.B., Huber M.L.* Transport properties of carbon dioxide + ethane and methane + ethane mixtures in the extended critical region // *Fluid Phase Equilib.*, **142**, 253 (1998).
  51. *Kiselev S.B., Rainwater J.C.* Enthalpies, excess volumes, and specific heats of critical and supercritical binary mixtures // *J. Chem. Phys.*, **109**, 643 (1998).
  52. *Kiselev S.B., Rainwater J.C., Huber M.L.* Binary mixtures in and beyond the critical region: thermodynamic properties // *Fluid Phase Equilib.*, **150–151**, 469 (1998).
  53. *Kiselev S.B.* Kinetic boundary of metastable states in superheated and stretched liquids // *Physica A*, **269**, 252 (1999).
  54. *Kiselev S.B., Abdulagatov I.M., Harvey A.H.* Equation of state and thermodynamic properties of pure D<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O mixtures in and beyond the critical region // *Int. J. Thermophys.*, **20**, 563 (1999).
  55. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Crossover SAFT equation of state: application for normal alkanes // *Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**, 4993 (1999).
  56. *Kiselev S.B., Friend D.G.* Cubic crossover equation of state for mixtures // *Fluid Phase Equilib.*, **162**, 51 (1999).
  57. *Kiselev S.B., Friend D.G.* Revision of a multiparameter equation of state to improve the representation in the critical region: application to water // *Fluid Phase Equilib.*, **155**, 33 (1999).
  58. *Kiselev S.B., Lue L., Belyakov M.Yu.* Universal crossover function and non-universal order-parameter profiles for critical adsorption // *Phys. Lett. A*, **251**, 212 (1999); Erratum: **260**, 168 (1999).
  59. *Kiselev S.B., Perkins R.A., Huber M.L.* Transport properties of refrigerants R32, R125, R134a, and R125 + R32 mixtures in and beyond the critical region // *Int. J. Refrigeration*, **22**, 509 (1999).

60. *Lue L., Kiselev S.B.* Crossover approach to scaling behavior in dilute polymer solutions: theory and simulations // *J. Chem. Phys.*, **110**, 2684 (1999).
61. *Lue L., Kiselev S.B.* Crossover behavior in dilute polymer solutions: square-well chains // *J. Chem. Phys.*, **111**, 5592 (1999).
62. *Mursalov B.A., Abdulagatov I.M., Dvorynachikov V.I., Kamalov A.N., Kiselev S.B.* Isochoric heat capacity of heavy water at subcritical and supercritical conditions // *Int. J. Thermophys.*, **20**, 1497 (1999).

**2000 – 2007 гг.**

63. *Anisimov M.A., Povodyrev A.A., Roseli J.P., Sengers J.V., Kiselev S.B., Friend D.G.* Critical amplitudes of H<sub>2</sub>O and D<sub>2</sub>O near vicinity of the critical point // *Steam, water, and hydrothermal systems: Physics and chemistry meeting the needs of industry: Proc. 13th Int. conf. on the properties of water and steam / eds P.R. Tremaine, P.G. Hill, D.E. Irish, P.V. Balakrishman, Ottawa, 2000, p. 339.*
64. *Abdulagatov I.M., Magee J.W., Kiselev S.B., Friend D.J.* An Isochoric Heat Capacity of Light and Heavy Water at Subcritical and Supercritical Conditions // *Steam, water, and hydrothermal systems: Physics and chemistry meeting the needs of industry: Proc. 13th Int. conf. on the properties of water and steam / eds P.R. Tremaine, P.G. Hill, D.E. Irish, P.V. Balakrishman, Ottawa, 2000, p 374.*
65. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Simplified crossover SAFT equation of state // *Fluid Phase Equilib.*, **174**, 93 (2000).
66. *Kiselev S.B., Ely J.F., Abdulagatov I.M., Magee J.W.* Crossover SAFT equation of state and thermodynamic properties of propan-1-ol // *Int. J. Thermophys.*, **21**, 1373 (2000).
67. *Kiselev S.B., Ely J.F., Belyakov M.Yu.* Adsorption of critical and supercritical fluids // *J. Chem. Phys.*, **112**, 3370 (2000).
68. *Kiselev S.B.* Physical limit of stability in supercooled liquids // *Int. J. Thermophys.*, **22**, 1421 (2001).
69. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Curvature effect on the physical boundary of metastable states in liquids // *Physica A*, **299**, 357 (2001).
70. *Kiselev S.B., Ely J.F., Adidharma H., Radosz M.* A crossover equation of state for associating fluids // *Fluid Phase Equilib.*, **183–184**, 53 (2001).

71. *Lue L., Kiselev S.B.* Crossover behavior of star polymers in good solvents // *J. Chem. Phys.*, **114**, 5026 (2001).
72. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Parametric crossover model and physical limit of stability in supercooled water // *J. Chem. Phys.*, **116**, 5657 (2002).
73. *Kiselev S.B., Ely J.F., Abdulagatov I.M., Bazaev A.R., Magee J.W.* Equation of state and thermodynamic properties of pure toluene and dilute aqueous toluene solutions in the critical and supercritical regions // *Ind. Eng. Chem. Res.*, **41**, 1000 (2002).
74. *Kiselev S.B., Ely J.F., Lue L., Elliot J.R.* Computer simulations and crossover equation of state of square-well fluids // *Fluid Phase Equilib.*, **200**, 121 (2002).
75. *Lue L., Kiselev S.B.* Crossover behavior of linear and star polymers in good solvents // *Int. J. Thermophys.*, **23**, 117 (2002).
76. *Lue L., Kiselev S.B.* Star polymers in good solvents from dilute to concentrated regimes: crossover approach // *Condensed Matter Phys.*, **5**, 73 (2002).
77. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Generalized corresponding states model for bulk and interfacial properties in pure fluids and fluid mixtures // *J. Chem. Phys.*, **119**, 8645 (2003).
78. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Physical limit of stability in supercooled D2O and D2O+H2O mixtures // *J. Chem. Phys.*, **118**, 680 (2003).
79. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Generalized crossover description of the thermodynamic and transport properties in pure fluids // *Fluid Phase Equilib.*, **222/223**, 149 (2004).
80. *Kiselev S.B., Ely J.F.* Simplified crossover droplet model for adsorption of pure fluids in slit pores // *J. Chem. Phys.*, **120**, 8241 (2004).
81. *McCabe C., Kiselev S.B.* Application of crossover theory to the SAFT-VR equation of state: SAFT-VRX for pure fluids // *Ind. Eng. Chem. Res.*, **43**, 2839 (2004).
82. *McCabe C., Kiselev S.B.* A crossover SAFT-VR equation of state for pure fluids: preliminary results for light hydrocarbons // *Fluid Phase Equilib.*, **219**, 3 (2004).
83. *Abdulagatov I.M., Bazaev A.R., Magee J.W., Kiselev S.B., Ely J.F.* PVT<sub>x</sub> measurements and crossover equation of state of pure n-hexane and dilute aqueous n-hexane solutions in the critical and supercritical regions // *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 1967 (2005).
84. *Abdulagatov I.M., Kiselev S.B., Ely J.F., Polikhronidi N.G., Abdurashidova A.* Thermodynamic properties of methanol in the near-critical and supercritical regions // *Int. J. Thermophys.*, **26**, 1327 (2005).
85. *Kiselev S.B., Ely J.F., Abdulagatov I.M., Huber M.L.* Generalized SAFT-DFT/DMT model

- for the thermodynamic, interfacial, and transport properties of associating fluids: Application for *n*-alkanols // *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**, 6916 (2005).
86. Sun L., Kiselev S.B., Ely J.F. Multiparameter crossover equation of state: Generalized algorithm and application to carbon dioxide // *Fluid Phase Equilib.*, **233**, 270 (2005).
87. Sun L., Zhao H., Kiselev S.B., McCabe C. Application of SAFT-VRX to binary phase behavior: alkanes // *Fluid Phase Equilib.*, **228-229C**, 275 (2005).
88. Sun L., Zhao H., Kiselev S.B., McCabe C. Predicting mixture phase equilibria and critical behavior using the SAFT-VRX approach // *J. Phys. Chem. B*, **109**, 9047 (2005).
89. Whitmer J.K., Kiselev S.B., Law B.M. Adsorption at the liquid-vapor surface of a binary liquid mixture // *J. Chem. Phys.*, **123**, 204720 (2005).
90. Kiselev S.B., Ely J.F. A new analytical formulation for the generalized corresponding states model for thermodynamic and surface properties in pure fluids // *Chem. Eng. Sci.*, **61**, 5107 (2006).
91. Kiselev S.B., Ely J.F., Elliot J.R. Molecular dynamic simulations and global equation of state of square-well fluids with the well-widths from  $\lambda=1.1$  to 2.1 // *Molec. Phys.*, **104**, 2545 (2006).
92. Kiselev S.B., Ely J.F., Tan S.P., Adidharma H., Radosz M. HRX-SAFT equation of state for fluid mixtures: application to binary mixtures of carbon dioxide, water, and methanol // *Ind. Eng. Chem. Res.*, **45**, 3981 (2006).
93. Kiselev S.B., Ely J.F. Generalized crossover description of the thermodynamic and transport properties in pure fluids: II. Revision and modifications // *Fluid Phase Equilib.*, **252**, 57 (2007).
94. Kiselev S.B., Ely J.F. HRX-SAFT Equation of State for Fluid Mixtures: New Analytical Formulation // *J. Phys. Chem. C*, **111**, 15969 (2007).