

ISSN-1682-0533

Научно-Техническое Общество «КАХАК»

# ИЗВЕСТИЯ

Научно-Технического Общества «КАХАК»

2023, № 1 (79)

Алматы, 2023

# ИЗВЕСТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА «КАХАК»

Алматы, 2023 г., № 1 (79)

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Мун Г.А.** – доктор химических наук, профессор

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**Бияшев Р.Г.** – доктор технических наук, профессор; **Календарь Р.Н.** – кандидат биологических наук, профессор; **Калтаев А. Ж.** – доктор физико-математических наук, профессор; **Мукашев Б.Н.** – доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК; **Огай В.Б.** – кандидат биологических наук; **Пак И.Т.** – заслуженный деятель науки и техники РК, доктор технических наук, профессор; **Цой О.Г.** – доктор медицинских наук, профессор; **Kim Byung-Soo** – PhD, профессор (Сеул, Республика Корея); **Park Kinam** – PhD, профессор (Уэст Лафайетт, США); **Ю В.К.** – доктор химических наук, профессор, *заместитель главного редактора*; **Югай О.К.** – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, *ответственный секретарь*

## EDITOR-IN-CHIEF

**Mun G.A.** – Doctor of Chemical Sciences, professor

## THE EDITORIAL BOARD:

**Biyashev R.G.** – Doctor of Technical Sciences, professor; **Kalendar R.N.** – Candidate of Biological Sciences, professor; **Kaltayev A.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor; **Mukashev B.N.** – Doctor of Physico-mathematical Sciences, professor, NAS RK academician; **Ogay V.B.** – Candidate of Biological Sciences; **Pak I.T.** – Honored Worker of Science and Technology of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, professor; **Tsoy O.G.** – Doctor of Medical Sciences, professor; **Kim Byung-Soo** – PhD (Seoul, Republic of Korea); **Park Kinam** – PhD, professor (West Lafayette, USA); **Yu V.K.** – Doctor of Chemical Sciences, professor, *Deputy Chief Editor*; **Yugay O.K.** – Candidate of Chemical Sciences, associate professor, *Managing Editor*

**Учредитель:** Научно-техническое общество «КАХАК»

Издается с 1998 г.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 1561-ж от 3 ноября 2000 г.

Выдано Министерством культуры, информатики и общественного согласия  
Республики Казахстан

**Подписной индекс:** 74838

Подписку можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта».

Подписка продолжается в течение года.

**Адрес редколлегии и редакции:**

050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34  
телефон 8(727)-272-79-02, 8(727)-291-60-69

e-mail: [izv.ntokahak@mail.ru](mailto:izv.ntokahak@mail.ru)

Сайт: [www.ntokahak.kz](http://www.ntokahak.kz)

ISSN-1682-0533

## КОЛОНКА РЕДАКТОРА

**МРНТИ: 04.41.31**

**УДК: 316.723**

### **ЧТО СТОИТ ЗА LGBT-ПОВЕСТКОЙ?**

**Мун Г.А., Матрасулова Д.К., Витулева Е.С., Сулейменов И.Э.**

*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан  
e-mail: mungrig@yandex.ru, matrassulova\_dinara@mail.ru, lizavita@list.ru,  
esenych@yandex.ru*

*Рассматривается вопрос о становлении постиндустриального типа воспроизводства населения, тесно связанный с проблемой кризиса традиционной моногамной семьи. Показано, что LGBT-повестку допустимо рассматривать как маркер некоего промежуточного этапа, итогом которого должен стать переход к постиндустриальной семье, отвечающей западноевропейскому социокультурному коду. Продемонстрировано, что потребность в кардинальной трансформации семейно-брачных отношений носит объективный характер и обусловлена, главным образом, увеличением продолжительности жизни. Доказывается, что в условиях становления многополярного мира допустимо ставить вопрос о вариативности семейно-брачных отношений. Это, в том числе, подразумевает, что формы семьи, отвечающие социокультурному коду исламской цивилизации, могут рассматриваться как конкурентоспособная альтернатива попыткам реализации постиндустриальной семьи, предпринимаемых в странах геополитического Запада через LGBT-повестку. Показано, что идеологические ограничения на обсуждение вопроса о нетривиальных формах семьи, де-факто наложенные в Российской Федерации, по объективным причинам являются неприемлемыми для Республики Казахстан. Доказывается, что демографические проблемы, решаемые странами геополитического Запада, в частности, через пропаганду полиаморных семей и/или аналогичные инструменты, применительно к условиям Казахстана могут быть решены естественным путем через осмысленную модернизацию традиционного уклада, которая полностью отвечает уже складывающимся тенденциям.*

**Ключевые слова:** *LGBT-повестка, кризис моногамной семьи, социокультурный код, «ловушка очевидности», полигамия, уравнение демографической динамики, постиндустриальный тип воспроизводства населения.*

*Дәстүрлі моногамдық отбасының дағдарыс проблемасымен тығыз байланысты халық көбеюінің постиндустриалды типін қалыптастыру мәселесі қарастырылады. ЛГБТ күн тәртібін қандай да бір аралық кезеңнің маркері ретінде қарастыруға болатыны көрсетілген, оның нәтижесі Батыс Еуропалық әлеуметтік-мәдени кодекске сәйкес келетін постиндустриалды отбасына көшу болуы тиіс. Отбасы-неке қатынастарын түбегейлі өзгерту қажеттілігі объективті сипатқа ие және негізінен өмір сүру ұзақтығының ұлғаюымен байланысты екені көрсетілді. Көпполярлы дүниенің қалыптасу жағдайында отбасылық-некелік қатынастардың өзгермелілігі туралы мәселені қоюға болатыны дәлелденді. Бұл, басқалармен қатар, ислам өркениетінің әлеуметтік-мәдени кодексіне сәйкес келетін отбасы формаларын ЛГБТ күн тәртібі арқылы геосаяси Батыс елдерінде қолға алынған постиндустриалды отбасын жүзеге асыру әрекеттеріне бәсекеге қабілетті балама ретінде қарастыруға болатынын білдіреді. . Отбасының тривиальды емес нысандары туралы*

мәселені талқылауға Ресей Федерациясында іс жүзінде енгізілген идеологиялық шектеулер Қазақстан Республикасы үшін объективті себептермен жол берілмейтіні көрсетілген. Геосаяси Батыс елдері шешіп отырған демографиялық проблемаларды, атап айтқанда, полиаморлық отбасыларды насихаттау және/немесе соған ұқсас құралдар арқылы Қазақстан жағдайына байланысты мәнді жаңғырту арқылы табиғи жолмен шешуге болатыны дәлелденді. қалыптасып келе жатқан тенденцияларға толығымен сәйкес келетін дәстүрлі өмір салты.

**Түйінді сөздер:** ЛГБТ күн тәртібі, моногамдық отбасы дағдарысы, әлеуметтік-мәдени код, «айқындық тұзағы», полигамия, демографиялық динамика теңдеуі, популяциялық ұдайы өндірістің постиндустриалды түрі.

*The issue of the formation of the post-industrial type of population reproduction, which is closely related to the problem of the crisis of the traditional monogamous family, is considered. It is shown that the LGBT agenda can be considered as a marker of some intermediate stage, the result of which should be the transition to a post-industrial family that meets the Western European socio-cultural code. It is demonstrated that the need for a radical transformation of family and marriage relations is of an objective nature and is mainly due to an increase in life expectancy. It is proved that in the conditions of the formation of a multipolar world it is permissible to raise the question of the variability of family and marriage relations. This, among other things, implies that family forms that correspond to the socio-cultural code of Islamic civilization can be considered as a competitive alternative to attempts to implement the post-industrial family, undertaken in the countries of the geopolitical West through the LGBT agenda. It is shown that the ideological restrictions on the discussion of the issue of non-trivial forms of the family, de facto imposed in the Russian Federation, are unacceptable for the Republic of Kazakhstan for objective reasons. It is proved that the demographic problems solved by the countries of the geopolitical West, in particular, through the propaganda of polyamorous families and / or similar tools, in relation to the conditions of Kazakhstan, can be solved in a natural way through a meaningful modernization of the traditional way of life, which fully meets the already emerging trends.*

**Keywords:** LGBT agenda, monogamous family crisis, sociocultural code, “obviousness trap”, polygamy, demographic dynamics equation, post-industrial type of population reproduction.

Парадоксально, но одним из основных слабых мест России на протяжении всей ее истории было недостаточно эффективное использование интеллектуальных ресурсов. История науки знает многочисленные примеры, когда российские ученые были вынуждены реализовывать свои передовые идеи за рубежом (Яблочков, Сикорский и т.д.). Многие из таких примеров представлены, в частности, в монографии [1], которая по понятным причинам вызвала достаточно резкую критику со стороны российских авторов [2–4].

Суждения авторов цитированных публикаций представляются во многом обоснованными, так как интерпретация исторических фактов, собранных автором [1], часто действительно является тенденциозной. Однако примеры, представленные в цитированной монографии, нельзя игнорировать, если речь идет именно об эффективности использования наличных интеллектуальных ресурсов. Данный вывод вполне оправдан, особенно, если принять во внимание, что соответствующие тенденции сохраняются и в настоящее время [5].

В особенности, российские политические элиты никогда не умели в полной мере использовать достижения теоретиков-гуманитариев («концептуалистов» по терминологии М.Л. Хазина). Это не может вызывать удивления: если с препятствиями сталкивается внедрение технических решений, которые допускают непосредственную проверку, то тем большие затруднения встретит внедрение концепций, о которых всегда можно сказать, что они носят отвлеченный характер.

Исключение составляет едва ли не единственный случай, когда выдающийся теоретик – В.И. Ленин – встал непосредственно во главе государства. Это с очевидностью коррелирует со многими тезисами, озвученными критиками монографии [1]. Предложенные им теоретические построения (при всей их неоднозначности) были навязаны элитам и обществу силой оружия, что и определило успехи СССР в достаточно длительной исторической перспективе.

В данной работе доказывается, что сложившееся исторически неумение российских политических элит эффективно использовать наличные интеллектуальные ресурсы (особенно нетривиальные суждения в гуманитарной области), в обозримой исторической перспективе создает для Российской Федерации весьма существенные риски. Доказывается также, что Республика Казахстан имеет все возможности для того, чтобы минимизировать риски такого рода.

Конкретно, речь идет об отсутствии видения исторической перспективы в одном из самых важных вопросов современности – кардинальной трансформации демографической ситуации, обусловленной, в частности, кризисом классической моногамной семьи. Доводы в пользу вывода о кризисе классической моногамной семьи представлены, например, в работах [6, 7], дополнительные доказательства даны также в данной работе. Нельзя также не отметить, что социологи говорили о соответствующих тенденциях уже много лет назад [8].

Воспроизводство «человеческого капитала» (при всей неоднозначности данного термина) является ключевым фактором для достижения успехов любым государством – что бы ни понималось под термином «успех». Более того, уже продолжительное время ставится вопрос о демографической безопасности, в том числе, Российской Федерации [9].

Этот фактор, в свою очередь, неотделим от проблематики семейно-брачных отношений, поскольку именно в семье закладывается фундамент для будущих успехов ребенка на любом поприще, так или иначе связанным с интеллектуальной деятельностью, которая имела и имеет определяющее значение для положения того или иного государства на геополитической карте мира.

Как показано в данной статье, LGBT-повестку, получающую максимальную поддержку в странах геополитического Запада [10, 11], следует рассматривать, прежде всего, как некую разновидность «подготовки» к формированию весьма нетривиальных типов семьи, отвечающих реалиям постиндустриального общества. Насколько оптимальным и/или оправданным является именно этот путь – отдельный вопрос.

Не вызывает, однако, сомнений, что инициаторы внедрения LGBT-повестки в массовое сознание преследовали комплекс целей, о чем можно судить по косвенным признакам, связанным с общим контекстом информационной войны [12, 13].

Одной из них заведомо было сдерживание научно-технического развития Российской Федерации как одного из потенциальных конкурентов в научно-технической сфере, а главное – в области разработки перспективных гуманитарных (управленческих) технологий. Отметим, что именно разработка таких технологий в настоящее время выходит на первый план в силу того, что традиционные управленческие технологии уже во многом теряют эффективность [14].

LGBT-повестка, как показано в настоящей работе, отвечает, в том числе, решению данной задачи. Действительно, нарастающее геополитическое противостояние не могло не отразиться в идеологической сфере. Постсоветские страны, погруженные в хаос деидеологизации 1990-х годов, не смогли найти адекватного идеологического ответа на любые идеологемы, формируемые оппонентами. Точнее, оставался только один легко просчитываемый и легко

прогнозируемый вариант – возврат к «консервативным» ценностям. В этом и состоит «ловушка очевидности» – побудить противника совершить прогнозируемые, т.е. представляющиеся для него вполне естественными и очевидными действия.

Подчеркнем, что термин «консервативный» в предыдущем предложении взят в кавычки, поскольку термин «консерватизм» как таковой можно интерпретировать с различных позиций. Данное уточнение является весьма существенным для последующего анализа возможностей, открывающихся перед Республикой Казахстан в современных условиях.

Как показывает даже беглый анализ российских СМИ, в качестве некоего базиса идеологии, поддерживаемой на государственном уровне, был избран осовремененный вариант триады С.С. Уварова «самодержавие, православие, народность» [15]. (С.С. Уваров считается одним из главных российских идеологов во времена Николая I.)

Аналоги этой триады являются весьма привлекательными для значительной части населения Российской Федерации, но они неизбежно окажут негативное влияние на развитие любых областей науки и техники. Особенно выраженным такое влияние будет наблюдаться в сфере гуманитарных технологий, которые оказываются все более и более востребованными в условиях кризиса классической моногамной семьи, а также тесно связанных с ним демографических проблем, о которых все чаще пишут российские авторы, в том числе в аспекте демографической безопасности государства [9].

Этот кризис носит системный характер. Более чем серьезные демографические проблемы характерны и для Западной Европы, а также Японии. Так, в столице Австрии Вене число учеников начальных классов, для которых немецкий язык не является родным, уже превышает треть от общей численности. Наглядно данные проблемы показывают также диаграммы рисунка 1, на которых показана половозрастная структура Японии (а) и Германии (б), относящаяся к 2018 г. Данные диаграммы отчетливо демонстрируют фактор старения населения в данных странах.

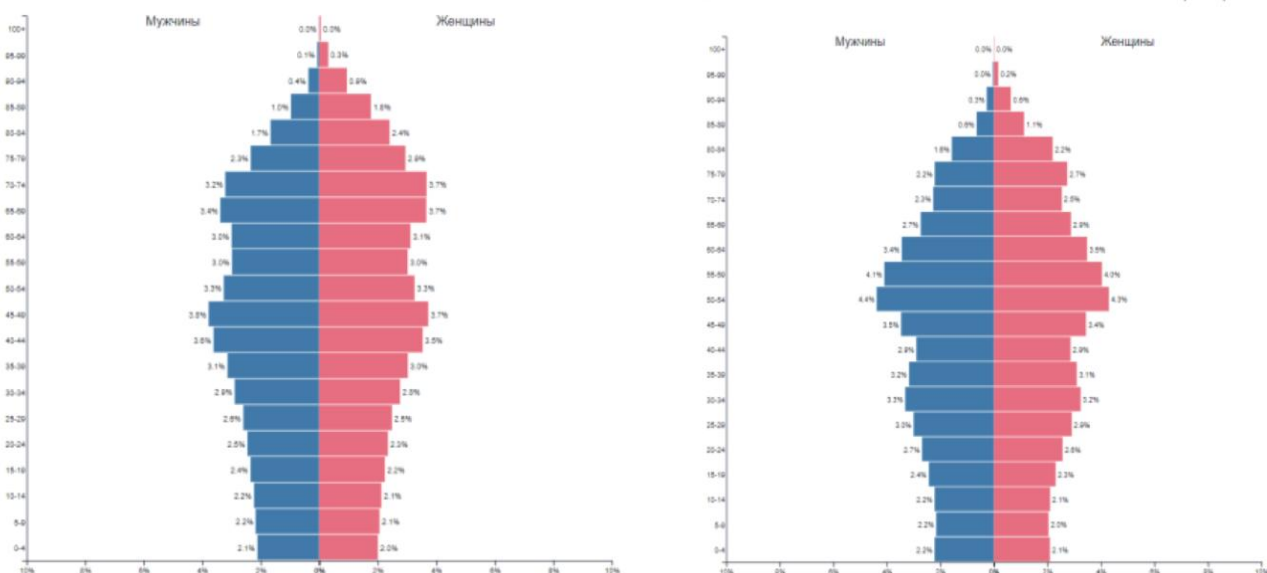


Рисунок 1 – Половозрастная структура Японии (а) и Германии (б) [16]

Возвращаясь к тезису о «ловушке очевидности», подчеркнем, что негативное влияние идеологических ограничений на развитие науки (особенно – в гуманитарной сфере) уже

неоднократно продемонстрировала история. Такие ограничения не просто сдерживают прогресс – они делают невозможной даже саму постановку любого вопроса, выходящего за предписанные рамки [17–19].

Весьма наглядно это прослеживается на примере вопроса о кризисе классической моногамной семьи. Тезис о непреложном сохранении тех консервативных ценностей, в число которых входит классическая моногамная семья (пропагандируемый идейными наследниками С.С. Уварова), делает невозможным постановку вопроса о том, что именно может прийти – и по объективным причинам придет – ей на смену. Соответственно, блокируется основа для разработки соответствующих гуманитарных (управленческих) технологий.

Покажем вначале, что по объективным причинам (основной из которых является увеличение средней продолжительности жизни населения более или менее развитых государств), классическая моногамная семья неизбежно должна будет уступить место другим формам семейно-брачных отношений. Далее на данной основе будет рассмотрен вопрос о возможных формах семьи, отвечающих обществу с высоким уровнем жизни и достаточно длительной ее продолжительностью.

Оттолкнемся от математической модели, которая описывает динамику численности народонаселения, которая построена с использованием реальных экспериментальных данных, а затем перейдем к анализу значения LGBT-повестки как фактора, призванного обеспечить трансформацию семейно-брачных отношений. Это, в свою очередь, позволит продемонстрировать, что ситуация, сложившаяся в Республике Казахстан, предоставляет вполне определенные преимущества, которыми не так сложно и воспользоваться.

### Экспериментальная часть

На рисунке 2 представлены примеры графиков, описывающих интегральную структуру населения Европы. Каждый из графиков представляет собой зависимость численности населения в 5-летнем возрастном интервале от средней точки данного интервала. При построении графиков использованы официальные данные ООН по демографической статистике [20].

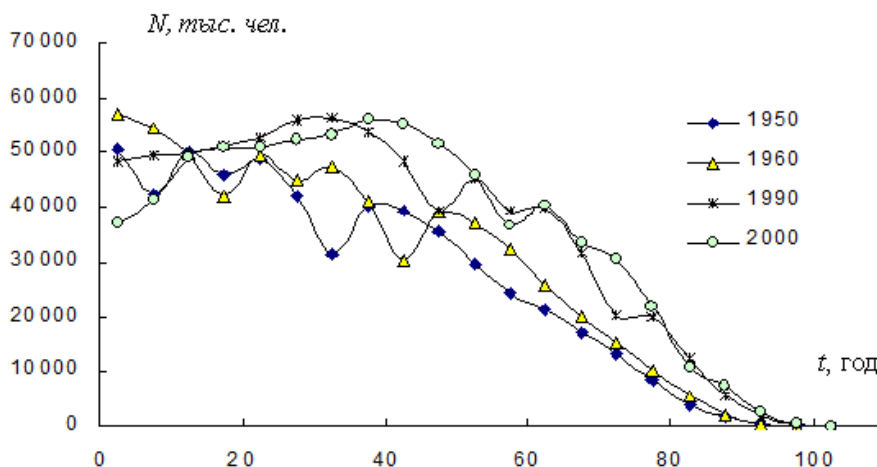


Рисунок 2 – Возрастная структура населения Европы в различные годы

Из представленных графиков видно, что представленные зависимости носят немонотонный характер, на них проявляется волноподобная структура. Переход к



автомодельным переменным позволяет, однако, привести такие данные к форме, более удобной для анализа. Раскроем смысл автомодельных переменных.

В исследованиях по демографии широко используется сетка Лексиса, представленная на рисунке 3, которая и позволяет перейти к таким переменным. Покажем это.

На диаграмме рисунка 3 оси абсцисс отложен календарный год, по оси ординат - возраст в годах. Разбиению временных шкал вертикальной и горизонтальной осей на интервалы продолжительностью в один год отвечают вертикальные и горизонтальные линии, образующие декартову сетку. Наклонные линии сетки, идущие под углом  $45^{\circ}$  к оси абсцисс, отвечают «линиям жизни» индивидов, родившихся в момент времени, отвечающий началу каждого календарного года.

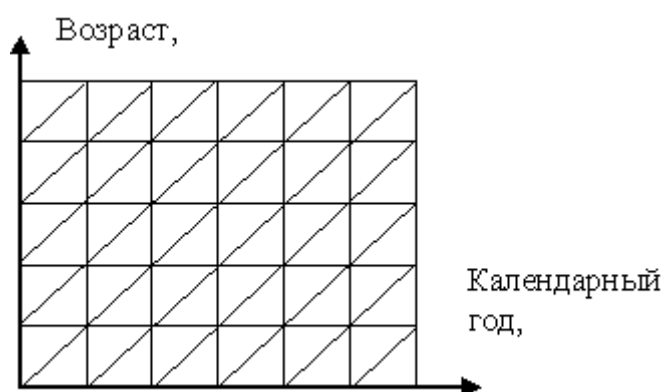


Рисунок 3 – «Немая» сетка Лексиса

Лица, родившиеся в определённом календарном году, за один прожитый год стареют также ровно на один год, соответствующая группа сдвигается в сетке Лексиса на единицу и по оси абсцисс, и по оси ординат. Если не принимать во внимание миграцию, то убывание численности данной группы возможно только вследствие смерти соответствующего числа индивидов. Соответственно, в теоретических построениях удобно пользоваться переменной  $\theta = t - \tau$ , где  $t$  и  $\tau$  – переменные текущего времени и возраста, соответственно.

Выбранная автомодельная переменная отсчитывается вдоль наклонных линий жизни на сетке Лексиса. Для конкретной «линии жизни» с течением времени не происходит изменения разности между переменной «возраст» и переменной «время», поэтому в этих переменных изменение функции распределения определяется только интегральной смертностью.

Преимущества использования автомодельных переменных иллюстрирует рисунок 4, на котором представлены зависимости численности 5-летних возрастных групп от текущего возраста.

Фактически графики, представленные на рисунке 4, отражают динамику численности группы населения, родившуюся в определенном 5-летнем интервале от возраста. Т.е. данный график можно рассматривать как динамику численности ровесников, чьи линии жизни на сетке Лексиса расположены близко друг к другу. Из рисунка видно, что в автомодельных переменных графики становятся монотонно убывающими (чего не имеет место для графиков возрастной структуры, рисунок 2), что физически вполне понятно: при сравнительно слабом влиянии миграции на возрастную структуру населения численность группы лиц одного и того возраста может только падать в связи с естественной убылью.

Отталкиваясь от вида полученных кривых, можно построить математическую модель, позволяющую проанализировать факторы, которые стоят за LGBT-повесткой, и выявить существующие преимущества для Республики Казахстан.

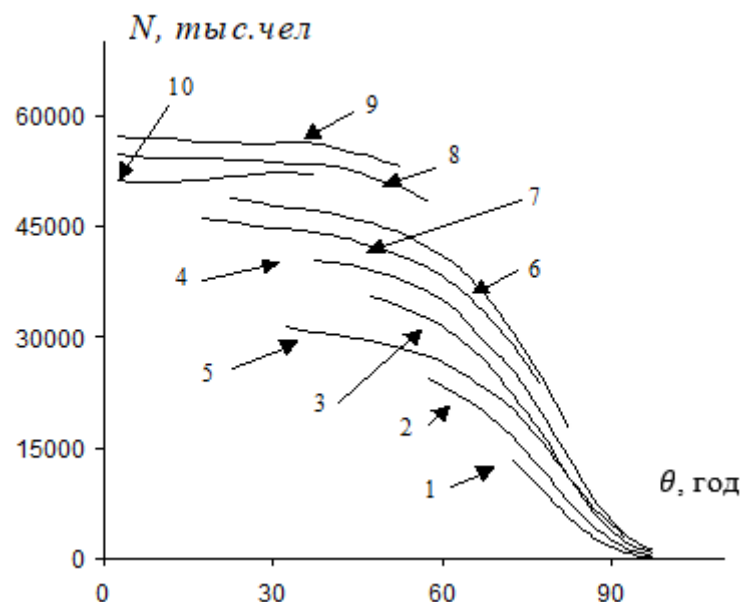


Рисунок 4 – Зависимость численности группы населения Западной Европы заданных лет рождения от текущего возраста; кривые относятся к следующим годам рождения: 1 – 1880, 2 – 1895, 3 – 1905, 4 – 1915, 5 – 1920, 6 – 1930, 7 – 1935, 8 – 1955, 9 – 1960, 10 – 1975

### Результаты и обсуждение

#### Уравнение демографической динамики и его модельные решения

Будем использовать функцию распределения, описывающую возрастную структуру общества, которая зависит от двух переменных – времени и возраста индивида.

Данная функция определяется стандартным образом

$$f(t, \tau) = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \frac{n(t, \tau + \Delta\tau) - n(t, \tau)}{\Delta\tau} \quad (1)$$

где  $n(t, \tau)$  – численность лиц, достигших к моменту времени  $t$  возраста  $\tau$ .

Изменение рассматриваемой функции во времени обусловлено двумя факторами: переходом из одной возрастной группы в другую с течением времени, что и отображают «линии жизни» на сетке Лексиса, а также смертностью (для целей данной работы рассмотрение миграции не представляет интереса). Имеем:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\frac{\partial f}{\partial \tau} - k(t, \tau)f(t, \tau) \quad (2)$$

где предполагается, что смертность населения может быть отражена через коэффициент  $k(t, \tau)$ , который, вообще говоря, зависит и от текущего возраста, и от времени.

Уравнение (2) представляет собой аналог уравнения Больцмана, широко используемого, в частности, в физике плазмы. Оно носит общий характер, с его помощью, в принципе можно учесть и эффекты, связанные с миграцией, однако, их рассмотрение выходит за рамки данной работы.

Аналогия с уравнением Больцмана становится явной, если переписать соотношение (2) в форме

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial \tau} = -k(t, \tau)f(t, \tau) \quad (3)$$

Подчеркнем, что рождаемость в явном виде в данное уравнение не входит. Этот процесс отображается через граничное условие, задаваемое при  $\tau = 0$ .

Осуществим в уравнении (3) замену переменных  $(t, \tau) \rightarrow (\theta = t - \tau, \tau)$ . В соответствии с общими правилами замены переменных в уравнениях с частными производными:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \tau} = \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} \frac{\partial f}{\partial \theta_1} + \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} \frac{\partial f}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial \theta_1}{\partial t} \frac{\partial f}{\partial \theta_1} + \frac{\partial \theta_2}{\partial t} \frac{\partial f}{\partial \theta_2} \end{cases} \quad (4)$$

В рассматриваемом случае  $\theta_1 = \theta - \tau$ ;  $\theta_2 = \tau$ . Имеем:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \tau} = -\frac{\partial f}{\partial \theta_1} + \frac{\partial f}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial \theta_1} \end{cases} \quad (5)$$

Подставляя (5) в (3), получаем аналог уравнения Больцмана для демографической задачи в автомодельных переменных:

$$\frac{\partial f}{\partial \tau} = -k(\theta, \tau)f(\theta, \tau) \quad (6)$$

Соотношение (6) можно переписать в виде, позволяющем явно отыскать коэффициент  $k(\theta, \tau)$  на основании экспериментальных данных.

$$\frac{\partial \ln f}{\partial \tau} = -k(\theta, \tau) \quad (7)$$

Соответствующее построение представлено на рисунке 5, на котором приведены зависимости логарифма коэффициента  $k(\theta, \tau)$  от текущего возраста групп различного года рождения (т.е. автомодельной переменной). Видно, что полученные зависимости с удовлетворительной для фоновой модели точностью укладываются на единственную прямую линию. Это, в частности, означает, что при построении фоновой модели в первом приближении можно пользоваться постоянной зависимостью коэффициента смертности от возраста.

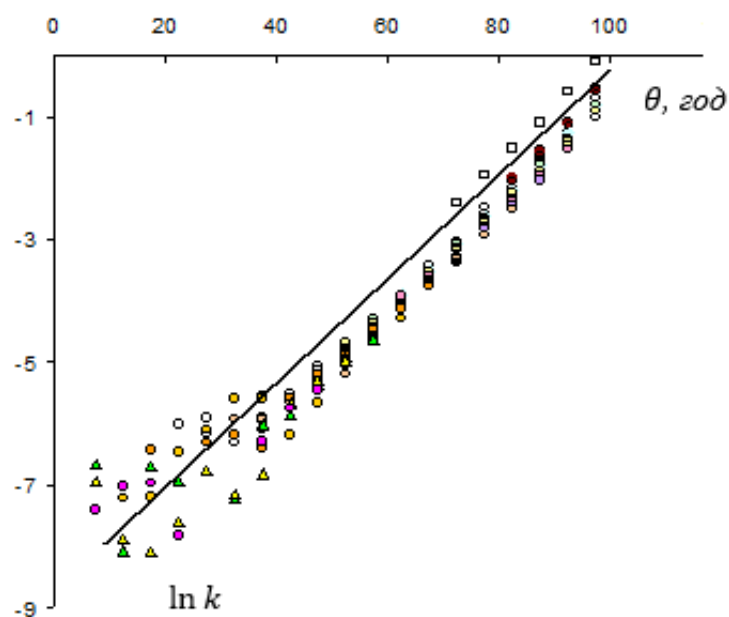


Рисунок 5 – Зависимость логарифма  $k(\theta, \tau)$  от автомодельной переменной (для населения Западной Европы, данные рисунка 3)

Более детально поведение рассматриваемого коэффициента иллюстрирует рисунок 6, на котором представлены его зависимости от текущего возраста для групп, рожденных в течение конкретного 5-летнего интервала, т.е. для фиксированного значения автомодельной переменной  $\theta$ . Видно, что все эти зависимости с высокой точностью являются прямыми. Точнее, прямолинейные зависимости хорошо аппроксимируют поведение коэффициента смертности, начиная примерно с 40-летнего возраста. Одной из причин для этого являются ошибки, связанные с неадекватным учетом миграции в приведенном максимально упрощенном рассмотрении. А именно, миграции подвержены в основном сравнительно молодые возраста, к тому же для лиц такого возраста смертность сравнительно мала и может быть сопоставима с миграционными эффектами. Напротив, для лиц сравнительно большого возраста этот фактор является определяющим и поэтому модель, в которой основным фактором изменения функции распределения является именно смертность, удовлетворительно описывает экспериментальные результаты для данной категории граждан.

Эти результаты, в том числе, показывают, что при решении модельных задач допустимо пользоваться линейной аппроксимацией логарифма коэффициента смертности

$$\ln k(\tau) \sim A\tau - B = A(\tau - \tau_0) \quad (8)$$

Конкретно, для целей данной работы основной интерес представляет отыскание зависимости численности народонаселения от функции, характеризующей распределение деторождения по возрастам. Соответственно, имеет смысл рассмотреть модельную задачу, когда коэффициент смертности зависит только от возраста индивидов, но не от текущего времени.

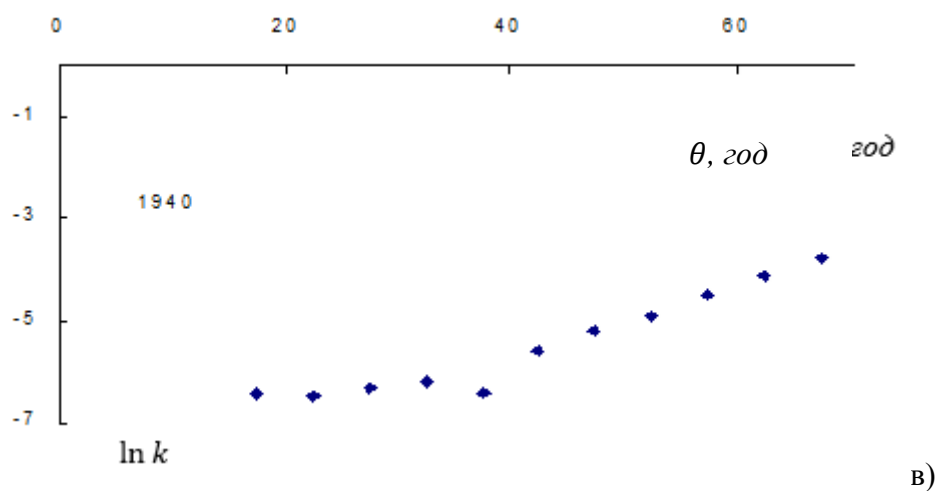
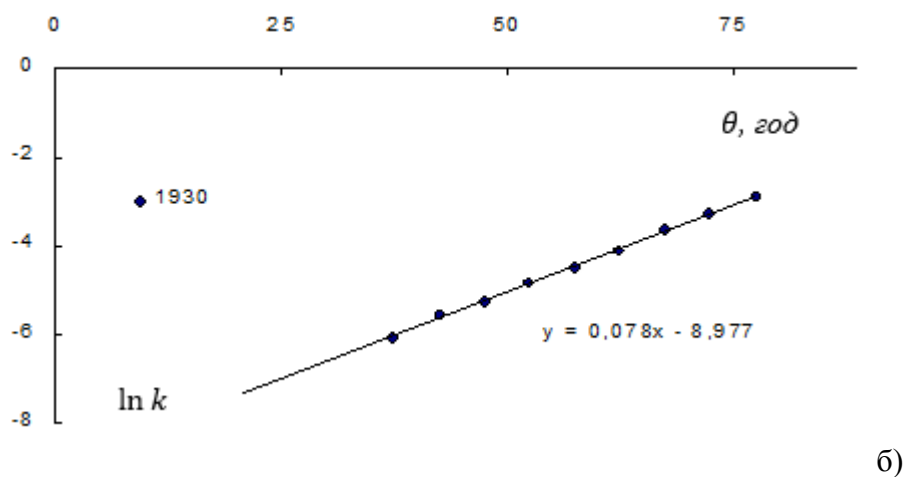
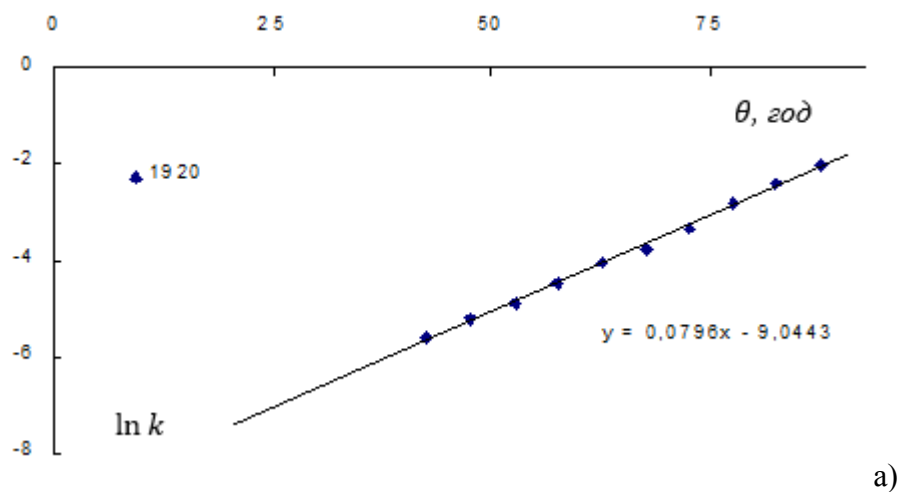


Рисунок 6 – Зависимость логарифма  $k(\theta, \tau)$  от автомодельной переменной для населения Западной Европы, и конкретных годов рождения; а) – 1920, б) – 1930, в) – 1940

Аппроксимация (8) позволяет получить явное решение уравнения (6). Имеем

$$\ln f = b(\theta) - \int_0^{\tau} k(\tau) d\tau, k(\tau) = k_0 e^{A\tau} \quad (9)$$

Откуда

$$f = n(\theta) \exp\left(-\frac{k_0}{A}(e^{A\tau} - 1)\right) \quad (10)$$

Существенно, что для решения модельной задачи, отвечающей целям данной работы, функция (10) может быть вычислена в явном виде, так как вид функции  $k(\tau)$  известен (8).

Решение (10) имеет простой физический смысл. Оно описывает изменение функции распределения по возрастам вдоль отдельной линии на сетке Лексиса. Соответственно имеет место только уменьшение значения  $f$  с возрастом. Амплитудное значение  $n(\theta)$  представляет собой частоту рождений.

Общее решение рассматриваемой задачи может быть легко найдено на основании (10) с использованием граничных и начальных условий (рисунок 6).

Предположим, что известно начальное условие, т.е. функция  $f(\tau)|_{t=0}$ . Тогда рассматриваемая область, т.е. первый квадрант в координатной системе  $\tau Ot$ , распадается на две подобласти, рис.6. Эти подобласти I и II разграничены прямой  $t = \tau$ , проходящей через начало координат (прямая  $OY$  на рисунке 7).

Поведение функции  $f(t, \tau)$  в области I определяется начальным условием, т.е. функцией  $f_0(\tau) = f(\tau)|_{t=0}$ , а в области II – граничным, которое задается на прямой  $\tau = 0$ .

Данное граничное условие отражает процесс рождаемости. Определим функцию  $\Phi(\tau)$  – плотность вероятности рождения одного ребенка на одного человека. (С точностью, приемлемой для решения модельной задачи, можно не анализировать детально половую структуру населения). Строго говоря, функция  $\Phi(\tau)$  зависит не только от возраста, но и от времени, однако при решении модельной задачи данную зависимость учитывать не имеет смысла.

В соответствии с данным определением функции  $\Phi(\tau)$  рождаемость, т.е. число рождений в единицу времени  $n(t)$  может быть записана как интеграл:

$$n(t) = \int_0^{\infty} f(t, \tau) \Phi(\tau) d\tau \quad (11)$$

Верхний предел интегрирования в формуле (11) формально бесконечен, реально он имеет конечное значение не выше 60–80 лет, поскольку рождение ребенка женщинами указанной возрастной группы происходит в единичных случаях и практически не оказывает влияния на статистику.

Для области II (рисунок 7), искомая функция распределения может быть записана как

$$f(t, \tau) = n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^{\tau} k(\tau) d\tau\right) \quad (12)$$

Аналогично, для области I имеем

$$f(t, \tau) = f_0(t - \tau) \exp\left(-\int_t^{\tau} k(\tau) d\tau\right) \quad (13)$$

Формулы (12) и (13) можно объединить, используя функцию, определяемую как

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (14)$$

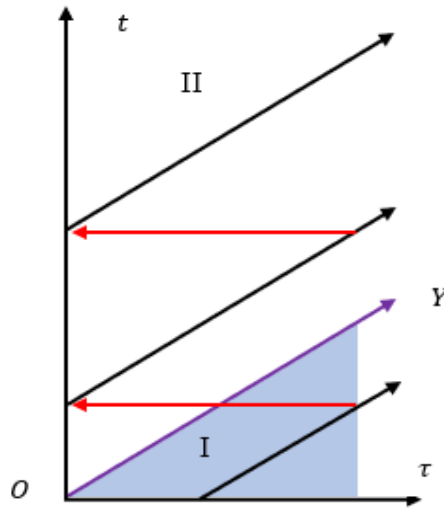


Рисунок 7 – К отысканию общего решения уравнения (3)

Имеем

$$f(t, \tau) = \theta(t - \tau)n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau)d\tau\right) + \theta(\tau - t)f_0(\tau - t) \exp\left(-\int_t^\tau k(\tau)d\tau\right) \quad (15)$$

Используя формулу (15) распределение рождаемости можно получить, непосредственно подставляя ее в (11). При этом возникает два слагаемых, одно из которых известно, так как известно начальное условие. Определим функцию

$$q_0(t) = \int_0^\infty \theta(\tau - t)f_0(\tau - t) \exp\left(-\int_t^\tau k(\tau)d\tau\right) \Phi(\tau)d\tau \quad (16)$$

Тогда подстановка (15) в (11) дает

$$n(t) = q_0(t) + \int_0^\infty \theta(t - \tau)n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau)d\tau\right) \Phi(\tau)d\tau \quad (17)$$

Видно, что искомая функция  $n(t)$  подчиняется сверточному уравнению, т.к. интеграл, стоящий в правой части формулы (17), представляет собой операцию свертки функции  $\theta(t - \tau)n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau)d\tau\right)$  с функцией рождаемости-смертности

$$Q(\tau) = \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau)d\tau\right) \Phi(\tau) \quad (18)$$

Такие уравнение непосредственно решаются с помощью преобразования Лапласа в представлениях «оригинал-изображение». Однако для преследуемых целей пользоваться этим методом не вполне оправдано.

Перепишем уравнение (17) в операторной форме

$$n(t) = q_0(t) + \hat{L}n(t) \quad (19)$$

Выражение (19) позволяет сделать наглядным переход к представлению решения уравнения (17) в форме ряда Неймана. Имеем

$$n(t) = q_0(t) + \sum_{m=1}^{\infty} \hat{L}^m q_0(t) \quad (20)$$

В том, что (20) является решением (17) можно убедиться непосредственной подстановкой.

Каждая итерация в (20) имеет прозрачный смысл: лица, достигшие репродуктивного возраста, производят потомство, которое, достигая этого возраста, производит следующее поколение и т.д. Именно эта процедура фактически неявно используется при выполнении демографических прогнозов с известными коэффициентами смертности и рождаемости.

Тем самым, итерационное решение (20) наглядно показывает, что используемый подход, основанный на интегральных уравнениях, приводит к тем же результатам, что и непосредственные вычисления по сетке Лексиса.

К тому же выводу приводит и представление решения уравнения (17) в приближенной дискретной форме.

А именно, будем описывать рождаемость в терминах дискретной последовательности значений, разбив ось времени на дискретные интервалы с шагом  $\Delta t$ , т.е. положив  $t_k = k \Delta t$ .

Рассмотрим значения функции  $f(t, \tau)$ , относящиеся к некоторой линии в координатной системе  $(t, \tau)$ , которая отвечает взрослению человека, т.е.  $t - \tau = const$ , и отличающиеся дискретным сдвигом на  $\Delta t$ , значение которого будем считать малым. Имеем

$$f(t, \tau) = n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^{\tau} k(\tau) d\tau\right) \quad (21)$$

$$f(t + \Delta t, \tau + \Delta t) = n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^{\tau + \Delta t} k(\tau) d\tau\right) \quad (22)$$

Разность между ними составляет

$$f(t + \Delta t, \tau + \Delta t) - f(t, \tau) = n(t - \tau) \left[ \exp\left(-\int_0^{\tau + \Delta t} k(\tau) d\tau\right) - \exp\left(-\int_0^{\tau} k(\tau) d\tau\right) \right] \quad (23)$$

Вынося за скобку общий множитель, получаем

$$f(t + \Delta t, \tau + \Delta t) - f(t, \tau) = n(t - \tau) \exp\left(-\int_0^{\tau} k(\tau) d\tau\right) \left[ \exp\left(-\int_{\tau}^{\tau + \Delta t} k(\tau) d\tau\right) - 1 \right] \quad (24)$$

Откуда, пользуясь разложением в ряд Тейлора

$$f(t + \Delta t, \tau + \Delta t) = f(t, \tau)(1 - k(\tau)\Delta t) \quad (25)$$

Из этой формулы вытекает выражение для численности возрастных групп населения  $N_{i,j}$ , где индекс  $j$  нумерует возрастные интервалы, а индекс  $i$  – временные.



$$N_{i+1,j+1} = N_{i,j}(1 - K_j) \quad (26)$$

где  $K_j = k(\tau_j)\Delta t$

Формула (11) при этом приводит к выражению

$$N_{i+1,0} = \sum_{j=1}^{j=M} N_{i,j}P_j \quad (27)$$

Отметим, что соотношения (26) и (27) могут быть записаны сразу на основании тех же соображений, из которых были выведены уравнения (2) и (11). Отличие состоит только в том, что в одном случае рассматривалась модель в терминах непрерывности, а в другом – дискретная модель.

Дискретной моделью удобнее пользоваться при проведении численных расчётов, непрерывной – для качественного анализа. Значения функций, отвечающих дискретной модели, отличаются от тех, что используются в непрерывной, только константным множителем. Например,

$$N_i = \int_{t_{i-1}}^{t_i} n(t)dt = n_i\Delta t \quad (28)$$

На рисунках 8 и 9 представлены исходные функции и результаты модельных расчетов, проведенных на основании дискретной модели с временным шагом, отвечающим одному году. В качестве дискретной функции  $K_j$  выбрана функция, отвечающая зависимости (8), т.е.

$$K_j = \exp \lambda(j - \lambda_0) \quad (29)$$

со следующими значениями параметров:  $\lambda = 0,1$ ;  $\lambda_0 = 75$ . Значение  $M$  выбрано равным 90 годам.

В качестве дискретной функции  $P_j$  выбрана бимодальная функция вида

$$P_j = C_1\theta(j - \mu_{01})[\exp z_1(j - \mu_{01})^2 + C_2 \exp z_2(j - \mu_{02})^2] \quad (30)$$

Данная функция отвечает двум типам воспроизводства населения. В одном случае возраст рожениц отвечает «биологическому» взрослению, во втором случае – «социальному». Как будет ясно из дальнейшего, именно такой выбор модельной функции  $P_j$  позволяет проанализировать влияние характера семейно-брачных отношений на воспроизводство населения, в том числе в аспекте воспроизводства человеческого капитала.

На рисунке 8 представлены примеры функций (30) для трех различных значений параметра  $C_2 = 0,25$ ;  $1,0$ ;  $4,0$ . Расчеты проводились при  $z_1 = z_2 = 0,1$ . Для всех этих случаев значение параметра  $C_1$  подбиралось так, чтобы было выполнено условие

$$\sum_{j=1}^{j=M} P_j = q \quad (31)$$

Значение было выбрано:  $q = 1,2$ .

В качестве модельного начального условия была выбрана функция, совпадающая по виду с функцией (29) и теми же значениями управляющих параметров.

$$N_{0,j} = \exp \lambda(j - \lambda_0) \quad (32)$$

Это качественно соответствует современной возрастной пирамиде в развитых государствах.

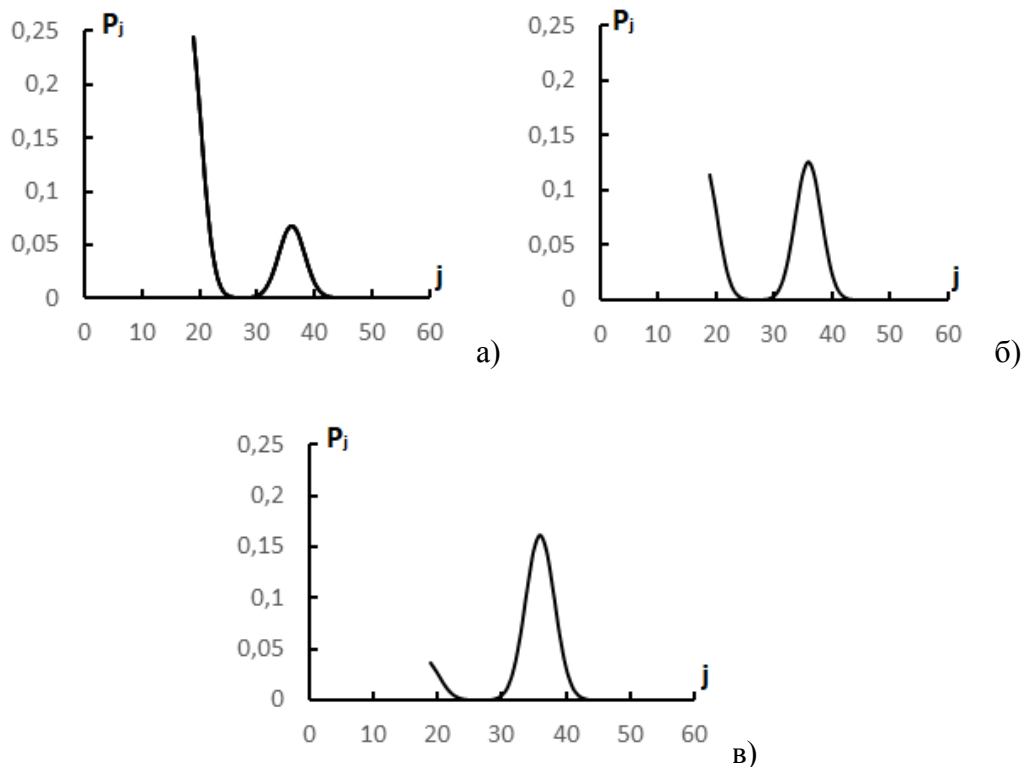


Рисунок 8 – Примеры бимодальных функций  $P_j$ , отвечающих различным значениям коэффициента  $C_2$ ;  $\mu_{01} = 18, \mu_{02} = 36$ ;  $C_2 = 0,25$  (а);  $1,0$  (б);  $4,0$  (в)

Результаты расчетов на основе дискретной модели представлены на рисунке 9. Видно, что при увеличении доли рожениц, отвечающих социальному взрослению, действительно имеет место общей численности, тогда как увеличение доли рожениц, отвечающих возрасту «биологического» взросления, приводит к росту населения.

Разумеется, представленные расчеты носят сугубо модельный характер, но они демонстрируют, что снижение возраста, в котором производится потомство, действительно в состоянии улучшить демографическую динамику. Ниже данный вывод будет обоснован на основе общего качественного рассмотрения полученных уравнений.

#### *Качественный анализ решений уравнения демографической динамики*

Дискретную модель, подчеркнем еще раз, можно было бы построить и не используя аналог уравнения Больцмана.

Уравнение (3) обладает тем преимуществом, что на его основе можно провести качественный анализ влияния функции  $\Phi(\tau)$ , характеризующей рождаемость, на демографическую динамику. Как будет ясно из дальнейшего, в современных условиях, когда средняя продолжительность жизни в развитых странах (более точным является термин

«ожидаемая продолжительность жизни при рождении») превышает 80 лет [16], положительная демографическая динамика может быть обеспечена не только и не столько числом детей, приходящихся на одну женщину, сколько постепенным снижением среднего возраста деторождения.

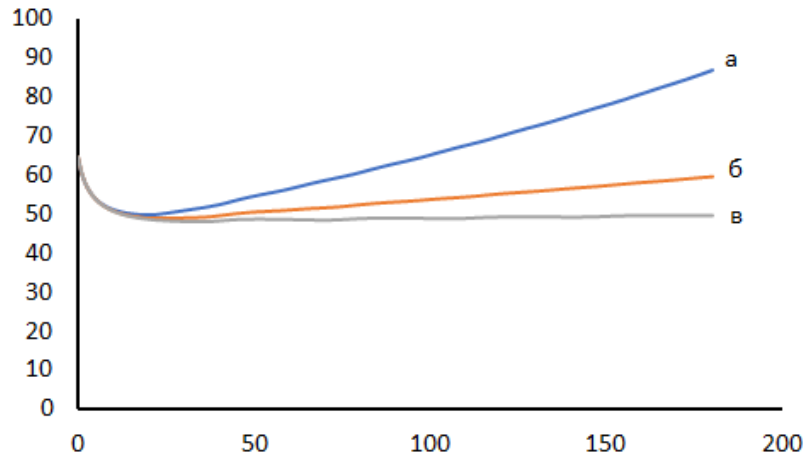


Рисунок 9 – Зависимость нормированной численности населения от времени для различных значений параметра, характеризующего бимодальное распределение;  $C_2 = 0,25$  (а); 1,0 (б); 4,0 (в)

Это, в свою очередь, возвращает к вопросу о кризисе классической моногамной семьи и о тех формах семейно-брачных отношений, которые должны прийти ей на смену.

Решение уравнения (3) может также быть записано в форме

$$f(t, \tau) = [\theta(t - \tau)n(t - \tau) + \theta(\tau - t)n_0(t - \tau)] \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau) d\tau\right) \quad (33)$$

Или в форме, учитывающей явный вид решения

$$f(t, \tau) = [\theta(t - \tau)n(t - \tau) + \theta(\tau - t)n_0(t - \tau)] \exp\left(-\frac{k_0}{A}(e^{A\tau} - 1)\right) \quad (34)$$

Эти формы отражают следующее обстоятельство. Для каждой из «линий жизни» (прямые  $t - \tau = const$ ), представленных на рисунке 6, существует свое начальное условие, отвечающее  $\tau = 0$ . Следовательно, вместо начального условия, задаваемого на прямой  $t = 0$  для области I на рисунке 6 можно перейти к начальному условию, задаваемому на прямой  $\tau = 0$ .

Отличием между областями I и II состоит в том, что для первой из них функция  $n(t - \tau)$  известна, а для второй – подлежит отысканию. Соответственно, в уравнении (33) фигурируют две функции  $n(t - \tau)$  и  $n_0(t - \tau)$ , причем последняя предполагается известной. -функции, фигурирующие в уравнении (33), явно указывают на вклад функций  $n(t - \tau)$  и  $n_0(t - \tau)$  в общее решение уравнения (3).

Предполагая, что данные функции принимают ненулевые значения только на соответствующих интервалах, -функции можно опустить и записать

$$f(t, \tau) = [n(t - \tau) + n_0(t - \tau)] \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau) d\tau\right) \quad (35)$$

Данное уравнение, наряду с уравнением (11), составляет замкнутую задачу, допускающую однозначное решение.

Имеем

$$n(t) = \int_0^\infty [n(t - \tau) + n_0(t - \tau)] \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau) d\tau\right) \Phi(\tau) d\tau \quad (36)$$

Проанализируем решение данного уравнения на качественном уровне.

Будем считать, что функция  $\Phi(\tau)$  обладает выраженным максимумом, а функция  $n(\theta)$  является медленно изменяющейся. Для решения модельных задач такое предположение является вполне оправданным, так как демографическая динамика обладает большой инерционностью, а «волны», наблюдающиеся на таких диаграммах как представленная на рисунке 1, являются следствиями исторических катаклизмов (как, например, снижение рождаемости, наблюдавшееся в постсоветских странах в 1990-е годы). Для решения модельных задач, призванных выявить влияние структуры семьи на демографическую динамику, такого рода эффекты учитывать нецелесообразно.

Далее, для качественного решения задачи из подынтегрального выражения в формуле (36) можно исключить множитель, отражающий смертность. Действительно, если функция  $\Phi(\tau)$  обладает выраженным максимумом, который заметно ниже средней продолжительности жизни, то

$$\exp\left(-\int_0^\tau k(\tau) d\tau\right) \Phi(\tau) \approx \Phi(\tau) \quad (37)$$

т.к. в той области, где  $\Phi(\tau)$  отлична от нуля, значение  $\exp\left(-\int_0^\tau k(\tau) d\tau\right)$  остается близким к единице.

Имеем

$$n(t) \approx \int_0^\infty [n(t - \tau) + n_0(t - \tau)] \Phi(\tau) d\tau \quad (38)$$

Тот факт, что функция  $n(\theta)$  изменяется медленно, причем при переходе от области I к области II не происходит резких скачков, позволяет заменить функцию  $n(t - \tau) + n_0(t - \tau)$  на ее разложение в ряд Тейлора в окрестности той точки, где  $\Phi(\tau)$  достигает максимума. Обозначая ее через  $\tau_0$ , имеем

$$n(t) = n_s(t - \tau_0) \int_0^\infty \Phi(\tau) d\tau + \left. \frac{\partial n_s}{\partial \theta} \right|_{\theta=t-\tau_0} \int_0^\infty \Phi(\tau) (t - \tau_0) d\tau + \dots \quad (39)$$

Численность населения  $N_\Sigma$  дается формулой

$$N_\Sigma = \int_0^\infty [n(t - \tau) + n_0(t - \tau)] \exp\left(-\int_0^\tau k(\tau_1) d\tau_1\right) d\tau \quad (40)$$

Или, принимая во внимание конкретный вид функции  $k(\tau)$ , вытекающий из (8)

$$N_{\Sigma} = \int_0^{\infty} [n(t - \tau) + n_0(t - \tau)] \exp(e^{-A\tau_M}[1 - e^{A\tau}]) d\tau \quad (41)$$

где  $\tau_M = -\frac{1}{A} \ln \frac{k_0}{A}$ ;  $k_0 = Ae^{-\tau_M A}$

Вид функций «двойной экспоненты»  $f(t) = \exp(e^{-A\tau_M}[1 - e^{A\tau}])$  представлен на рисунке 10. Можно видеть, что параметры  $\tau_M$  и  $A$ , характеризующие функцию  $f(t)$  в представлении (41), имеют прозрачный смысл. Параметр  $\tau_M$  отвечает средней продолжительности жизни, параметр  $A$  определяет то, насколько плавной или резкой является вершина возрастной пирамиды. Фактически, параметр  $A$  характеризует качество жизни. Если оно является достаточно высоким, то практически все население данной страны будет доживать до возраста, определяемого биологическими факторами и общим уровнем развития здравоохранения. Такой ситуации соответствуют большие значения  $A$ .

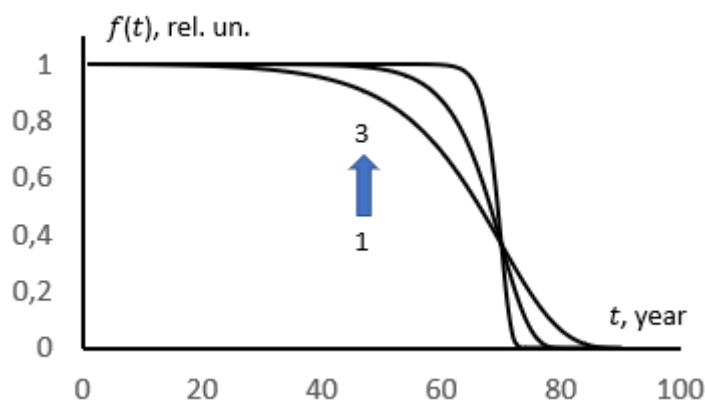


Рисунок 10 – Поведение функции  $f(t) = \exp(e^{-A\tau_M}[1 - e^{A\tau}])$ , определяющей значение показателя (10) при различных значениях параметра  $A$  и  $\tau_M = 70$  лет;  $A = 0,1$  (кривая 1);  $0,2$  (кривая 2);  $0,6$  (кривая 3) год<sup>-1</sup>

Можно видеть, что при достаточно больших значениях  $A$  рассматриваемая функция приближается к пороговой, причем переход от одного состояния к другому действительно имеет место в окрестности точки  $t = \tau_M$ .

Следовательно, в рамках решения модельной задачи, эту формулу можно существенно упростить, заменив приближенно функцию, отвечающую «правилу двойной экспоненты», на прямоугольную. Это тем более оправдано, что, начиная с середины XX века функция, описывающая рассматриваемую зависимость, действительно приближается к пороговой, что наглядно показывают данные о характере демографической статистики [21].

Имеем

$$N_{\Sigma} \approx \int_0^{\tau_M} [n(t - \tau) + n_0(t - \tau)] d\tau \quad (42)$$

Дальнейшее упрощение задачи, допустимое с точки зрения первичного качественного анализа состоит в том, чтобы пренебречь всеми слагаемыми, в которые входят производные функции  $n_S$ , в формуле (39).

В данном приближении функция  $n(t)$  становится квазипериодичной с периодом  $\tau_0$ . Соответственно, в качестве начального условия можно рассматривать функцию  $n_0(t)$ , заданную на интервале  $[-\tau_0, 0]$ , т.е.

$$n(t) = kn_0(t - \tau_0); t \in [0, \tau[ \tag{43}$$

где  $k = \int_0^\infty \Phi(\tau) d\tau$ .

и

$$n(t) = kn(t - \tau_0); t > \tau_0 \tag{44}$$

Для обеспечения непрерывности при этом должно выполняться

$$n(+0) = kn_0(-\tau_0) \tag{45}$$

Данное требование также можно считать выполненным при рассмотрении модельной задачи.

При сделанных предположениях интеграл (42) допустимо преобразовать следующим образом. Сделаем в нем замену переменных  $\tau_1 = t - \tau$ . Тогда

$$N_\Sigma \approx \int_{t-\tau_M}^t [n(\tau_1) + n_0(\tau_1)] d\tau \tag{46}$$

Качественно этот результат удобно интерпретировать при помощи рисунка 11. На данном рисунке показаны «линии жизни» (прямые  $t - \tau = const$ ), отвечающие нескольким поколениям, численность которых определяется условием периодичности (44). На том же рисунке проведены вертикальные линии, отвечающие двум различным значениям параметра  $\tau_M$ , который принят за пороговую продолжительность жизни.

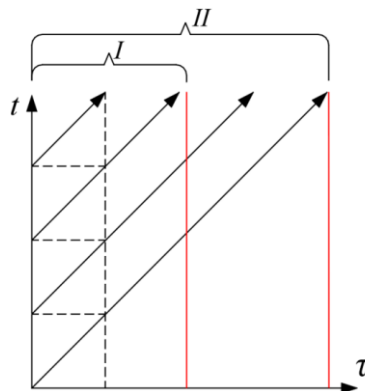


Рисунок 11 – Влияние количества живущих одновременно поколений на численность народонаселения

Как вытекает из формулы (46), численность населения самым существенным образом зависит, в том числе, от того, какое количество поколений живет в данный конкретный момент времени. Иначе, этот показатель качественно определяется отношением  $\tau_M/\tau_0$ .

Именно это и иллюстрирует диаграмма на рисунке 11: в зависимости от соотношения указанного параметра, численность населения может быть представлена различным количеством поколений. Так, если максимум функции приходится на возраст 36 лет (условно – возраст «социального» взросления), а средняя продолжительность жизни составляет 72 года, то в каждый данный момент времени население государства будет представлено только представителями двух поколений. Если же максимум функции приходится на возраст 18 лет (возраст биологического взросления), то в население государства будет определяться представителями четырех поколений, т.е. окажется примерно в два раза больше.

Этот результат вытекает также и из приведенных выше численных расчетов, которые показывают, что при прочих равных условиях прирост населения самым существенным образом обеспечивается снижением возраста деторождения. Именно это обстоятельство, вкуче с кризисом классической моногамной семьи заставляет обратиться к рассмотрению иных форм семейно-брачных отношений.

*Кризис классической моногамной семьи: вопрос о третьем типе воспроизводства населения*

Средний возраст, в котором женщины рожают первого ребенка, в развитых странах на протяжении XX века имел и продолжает иметь выраженную тенденцию к возрастанию [22]. Все большее количество женщин склонны первоначально обеспечить для себя определенное положение в обществе и только потом обзаводится потомством.

Этот факт отвечает общей тенденции, которую иллюстрирует рисунок 12. Рисунок схематически отражает тот факт, что в современном обществе наблюдается все больший разрыв между возрастом биологического и социального взросления. Особенно ярко этот разрыв прослеживается для лиц, ориентированных на интеллектуально насыщенную деятельность. Например, молодым ученым считается человек в возрасте до 35 лет (что биологически отвечает возрасту бабушки/дедушки). В таких странах как Российская Федерация ставится вопрос о повышении призывного возраста в армию. Более того, налицо все признаки того, что инфантилизм становится характерным для многих мужчин в возрасте до 35–40 лет, а иногда и для женщин.

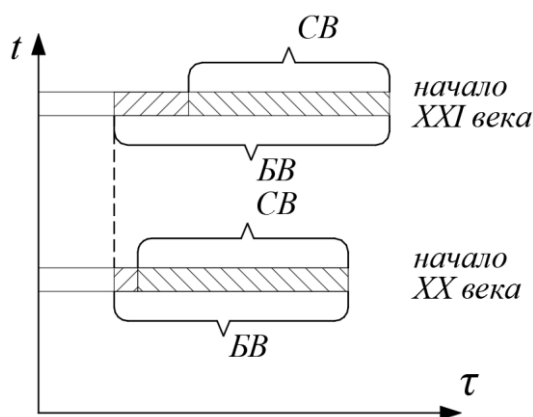


Рисунок 12 – Иллюстрация к увеличению разрыва между возрастными социальными и биологическими, СВ – социально взрослые, БВ – биологически взрослые

Это сопровождается увеличением возраста социальной/сексуальной активности, которых часто достигает порога в 60 лет и более. Помимо прочего, это приводит к тому, что продвижение молодых людей по социальной или карьерной лестнице затрудняется существенной конкуренцией со стороны лиц старшего возраста, имеющих такие преимущества как опыт, наработанные личные связи и т.д. Особенно выраженным этот фактор также является в тех сферах деятельности, которые связаны с интеллектуальным трудом. В таких сферах деятельности человек в возрасте до 35 лет зачастую не является самодостаточным, что заставляет его думать сначала о карьере, а только во вторую очередь – о создании семьи.

Все перечисленные выше факторы хорошо известны и многократно отражены в литературе [23, 24]. Однако недостаточно внимание уделяется следующему обстоятельству. Фактически, в современных условиях возникает ситуация, когда деление живущих на детей и взрослых становится недостаточным. Наряду с «детьми» и «взрослыми» в полном смысле этих слов (т.е. детьми, являющимися таковыми и биологически, и социально и взрослыми, являющимися таковыми в обоих данных смыслах), существуют лица, занимающие промежуточное положение. Это – лица, взрослые биологически (т.е. способные производить потомство и зачастую испытывающие такую потребность), но не являющиеся взрослыми с точки зрения общественных отношений.

Отметим, что де-факто разрыв между возрастами биологического и социального взросления уже давно кодифицирован. Так, произвести потомство может женщина и в возрасте 15-ти лет, что иногда и имеет место. Но, в соответствии с законодательством, действующим в подавляющем большинстве развитых стран, это трактуется как результат противоправных действий. Возраст социального взросления законодательно установлен в пределах 16–18 лет, что трактуется через юридическое понятие дееспособности.

Уместно подчеркнуть, что существующая кодификация различия между возрастами социального и биологического взросления сложилась достаточно поздно. Свидетельства этому можно найти, в том числе, и в художественной литературе. Так, няня, персонаж «Евгения Онегина» отвечает главной героине о «старине» так:

«Да как же ты венчалась, няня?»  
 — Так, видно, бог велел. Мой Ваня  
 Моложе был меня, мой свет,  
 А было мне тринадцать лет.

Эти строки отражают положение, узаконенное в России в XVIII веке: крестьянские девушки могли выходить замуж с 13 лет, что и отвечает возрасту биологического взросления.

Очевидно, что разница между юридически установленным возрастом социального взросления и возрастом биологического взросления в сложившейся практике достаточно мала. На демографическую статистику этот фактор не мог оказать существенного влияния. Но, если рассматриваемая разность приближается к 16-ти годам (т.е. к периоду, отвечающему одному биологическому поколению), то это уже становится существенным. Особенно, если принять во внимание влияние возраста женщины на ее репродуктивные способности.

Это возвращает к вопросу о структуре семьи и характере семейно-брачных отношений. А именно, в литературе, как правило, рассматриваются два типа воспроизводства населения



(если не принимать во внимание тот тип, который имел место в архаических обществах и давно ушел в прошлое). Первый (традиционный) тип воспроизводства населения характеризуется относительно высокой рождаемостью (30–55 %), а главное – суммарным коэффициентом рождаемости (до 6 и более детей на семью). Для второго («индустриального») характерна более низкая рождаемость, а главное сравнительно низкое число детей в семье (в среднем этот показатель часто принимается равным 2, 3) [25].

Нельзя не заметить, что LGBT-повестка и ее модификации де-факто прокладывают дорогу к иным типам воспроизводства населения. Действительно, легализация однополых связей, а также их моральная и законодательная поддержка на государственном уровне в итоге не может не привести к формированию брачных союзов, именуемых полиаморными [26] (несколько собратчиков, вступающих друг с другом, в том числе, в однополые отношения). Соответствующие тенденции в странах геополитического Запада уже просматриваются вполне отчетливо [27]. Например, сообщается о брачных союзах, в которых на одного мужчину приходится две собратницы, находящихся друг с другом в лесбийских отношениях.

Впрочем, нельзя не отметить, что нетривиальные брачные союзы неформально существовали и в бывшем СССР, где в начале его становления (1920-е годы и далее) активно дискутировался вопрос о сути и характере семейно-брачных отношений. Достаточно вспомнить о теории «стакана воды» видной революционерки Коллонтай [28, 29]. Примерами таких союзов, созданных выдающимися деятелями культуры и отраженных в литературе [7], являются взаимоотношения двух женщин-лесбиянок и мужа одной из них (М.И. Цветаева со своим мужем С.Я. Эфроном и Софией Парнок), двух мужей и их общей жены (В.В. Маяковский и официальная чета Бриков), равно как и союз, включающий одного мужа и двух его жен (И.А. Бунин с официальной супругой Верой Муромцевой и «ученицей» Валентиной Кузнецовой, А.А. Ахматова с Николаем Пуниным и его законной супругой Анной Аренс) и т.д. Есть все основания полагать, что генезис такого рода брачных союзов так или иначе связан с общей атмосферой в России 1920-х годов, когда под сомнение ставились любые нормы, унаследованные от «старого мира». Впрочем, это не более чем ремарка, призванная подчеркнуть, что проблема обновления структуры семьи отнюдь не нова и отнюдь не поднимается впервые. В частности, еще Ф. Энгельс в одной из наиболее известных своих монографий отмечал: «Если же моногамная семья в отдаленном будущем и окажется неспособной удовлетворять потребности общества, то невозможно заранее предсказать, какой характер будет иметь ее преемница» [30].

Обратим внимание на следующее обстоятельство. Если разница в возрасте между собратницами в брачном союзе указанного выше типа достаточно велика, то одна из них действительно начинает занимать в такой семье промежуточное положение между «взрослым» и «ребенком». Следовательно, такие союзы, по крайней мере, теоретически, отвечают реалиям общества, в котором велика доля лиц, являющихся взрослыми биологически, но детьми – социально.

Такие лица могут – при соответствующей структуре семьи – производить потомство, оставаясь при этом под опекой (в том числе, в финансовом плане) старшего поколения. В этом случае период социального взросления совпадает с периодом воспитания детей (в следующем поколении) в полном смысле этого слова.

Схематические такой союз иллюстрирует рисунок 12, на котором показана структура полиаморной семьи из двух женщин и одного мужчины.

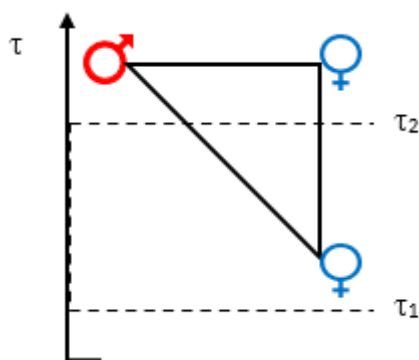


Рисунок 12 – Схема структуры полиаморной семьи из двух женщин и одного мужчины;  $\tau_{1,2}$  – возрасты биологического и социального взросления, соответственно

Поэтому, по крайней мере, теоретически, можно говорить о формировании семьи, которая обеспечит устойчивое воспроизведение и населения в целом, и человеческого капитала даже в условиях, когда среднее число детей, приходящихся на одну женщину, остается сравнительно низким (немного выше двух).

Мы приходим к выводу о том, что складывается тенденция, отвечающая третьему (постиндустриальному) типу воспроизводства населения.

Конкретные формы практической реализации трансформаций семейно-брачного уклада в странах геополитического Запада, конечно, могут быть различными. Это зависит, в том числе, от геоэкономической ситуации, а равно и многих других факторов, предсказывать которые – занятие неблагоприятное.

Не вызывает, однако, сомнений, что эталонный характер классической моногамной семьи уже давно поставлен под сомнение, а, следовательно, под сомнение поставлен и вопрос о том, что семья должна быть сформирована непременно только двумя людьми.

Следовательно, если последовательно придерживаться такой точки зрения, то правомочен вопрос о легализации – причем и на международном уровне – самого широкого спектра различных форм семьи, включая те, что были характерны для исламского мира на протяжении его многовековой истории. Трактовка традиций, характерных для исламского мира, характерная для эпохи евроцентризма, с очевидностью уходит в прошлое.

Подчеркиваем, что полигамия продолжительное время критиковалась *исключительно* с позиций евроцентризма, но в условиях кардинальной трансформации структуры семьи в мировом масштабе, критика, построенная на этой основе, как минимум, перестает быть убедительной.

Уместно также отметить, что становление классической моногамной семьи в форме, отвечающей западноевропейскому социокультурному коду, главным образом, обусловлено не некими ценностями или моральными нормами, а сугубо экономическими (и даже военными) факторами.

Экономическая основа стран Западной Европы в Средние века целиком и полностью определялась военными факторами. Феодалная лестница (король – графы и герцоги – бароны – рыцари – незнатные воины) может быть поставлена в соответствие современной армейской иерархии.

Отличие, по существу, состоит только в характере тылового обеспечения и снабжения. В современную армию ресурсы поступают из гражданских структур, а в те времена,

соответствующие подразделения находились на самообеспечении – феодалу в пользование предоставлялась земля вместе с закрепощенными крестьянами (феод), взамен он должен был в случае необходимости выставить определенное число воинов, вооружая и снабжая их за собственный счет, точнее, за счет феода, который находился в его владении.

Ближайший современный аналог средневекового западноевропейского феодала – армейский командир соответствующего ранга. Дворянство стало тем, что демонстрируют современные художественные фильмы, гораздо позже. Изначально – это сугубо военное сословие, проще говоря, армейские офицеры и сержанты.

Базовым ресурсом для содержания средневековой армии были крестьянские хозяйства. Очевидно, что полностью прикрепить к земле можно только женатого человека, обремененного семьей. Если бы рыцари низового звена (условно говоря, младшие лейтенанты), чей феодал был невелик (до нескольких десятков крестьянских хозяйств, а иногда меньше) завели бы себе гаремы, то на земле просто некому было бы работать: неженатым мужчинам в таких условиях оставалась только одна дорога – в разбойники.

Моногамия, предусматривающая, что каждый мужчина, даже из самых низких слоев общества, все же обзаводится женой и детьми, была нужна как важнейший фактор экономической стабильности – мелкий феодал иначе не может перейти в режим самокупаемости. В свою очередь, без мелких феодалов обойтись было нельзя, как в современной армии нельзя обойтись без сержантского состава.

Нужно также принять во внимание, что вооружение стоило *очень* дорого, рыцарский доспех по стоимости был сопоставим с несколькими деревнями. По существу, для обеспечения одного полноценного воина (то есть благородного рыцаря) требовалось несколько десятков крестьянских хозяйств. Дворянство (то есть все те, кто является полноценным, то есть экипированным в полный доспех конным воином) нашло выход из положения в феодальном «праве первой ночи» – они временно пользовались крестьянками, но более не обременяли себя заботой об этих женщинах, перекладывая эти функции на плечи официальных мужей, чему в полной мере способствовал институт официальной моногамии.

Подытоживая, моногамия была условием жизнеобеспечения именно *мелких* феодалов, тех, на которые и распалась Западная Европа после падения Римской Империи. Она поддерживала базовую военную организацию европейского средневекового общества, «гражданская» жизнь которого протекала преимущественно только в монастырях и немногочисленных крупных городах.

Строгая моногамия (в части юридического признания наследников) в Западной Европе выполняла еще одну важнейшую функцию. Феодальное право подразумевало неделимость наследуемых земельных угодий – в противном случае феодалы дробились бы на все более мелкие уделы, уже не способные обеспечить вооружением и *конем* полноценного воина. Конь, точнее боевой конь, также был весьма дорогостоящей частью оснащения; далеко не случайно титулование благородного дворянства в странах Западной Европы так или иначе связано со словом «всадник». Именно так переводится испанское слово «кабальеро» или французское слово «шевалье» (в другой транслитерации – «кавалер», сравните с термином «кавалерия»).

Шевалье д'Артаньян – на русский язык это переводится дословно так: всадник из Артаньяна, то есть хозяин поместья, именуемого Артаньян, за счет доходов с которого он приобрел своего коня и доспех.

В таких условиях младшие сыновья, рожденные рыцарю даже единственной женой, уже составляли определенную проблему – их приходилось пристраивать в монахи, в священники

или придумывать для них иные формы деятельности, которые не требовали земельного надела. Если бы рыцарь имел еще и гарем, проблема наследования земли была бы и вовсе нерешаемой.

Другая ситуация складывалась в государствах с более благоприятным (с точки зрения сельского хозяйства и коневодства) климатом и в которых, в отличие от Западной Европы, организация войска строилась на совершенно других принципах. (Собственно, дворянство как форма организации поместной воинской службы во многом есть специфически европейское изобретение.)

Подчеркиваем, что голодные годы были бичом Западной Европы вплоть до 18-го века, до тех пор, пока завезенные из Южной Америки сельскохозяйственные культуры (в частности, картофель) и поставки удобрений из-за рубежа не решили эту проблему. Более того, окончательно эта проблема была решена только к началу 20-го века, причем определяющую роль здесь сыграла химия удобрений – был разработан способ связывания атмосферного азота. Соответственно, в условиях выраженной продовольственной недостаточности, которая имела место в Западной Европе на протяжении всего средневековья, построить сколь-нибудь эффективное военное снабжение другим способом, кроме как изобретя дворянство, было, по-видимому, невозможно.

В отличие от Западной Европы, в степной Азии «всадниками» были все взрослые мужчины, соответственно вопрос о формировании дворянства в европейской форме там никогда и не стоял. Ресурс для кавалерии – обширные пастбища – был в этих географических регионах намного более доступным.

Неудивительно, что и характер семейно-брачных отношений был другим. Так, Османская Империя де-факто использовала полигамию (многоженство) как инструмент геополитического доминирования в бассейне Средиземного моря. Славянки, купленные на крымских и других базарах, становились в гаремах такими же женами, как и все остальные, соответственно они рожали и воспитывали турок. Не удивительно, что в сжатые по историческим меркам сроки Империя, построенная турками, существенно расширила свои пределы, покорив, в частности, Балканы и в своем продвижении на европейский континент остановившись только под Веной.

Наблюдаемое становление многополярного мира, в том числе, означает, что западноевропейский социокультурный код, продолжительное время задававший «правила игры», утрачивает позиции доминирования, в том числе и морального. Востребованными становятся представления и формы общественных отношений, комплементарных социокультурным кодам других цивилизаций, в том числе – исламской, равно как и китайской. Примером в данном отношении является высокая степень востребованности древневосточных философских учений на постсоветском (и не только) пространстве [31] и т.д.

В таких условиях формы семейно-брачных отношений, комплементарные социокультурному коду исламской цивилизации, также не могут не оказаться актуализованными. Это, в частности, подтверждает текущая практика в Республике Казахстан (где токал уже де-факто являются легализованными если не на уровне законодательства, то на уровне массового сознания). Социокультурное давление на иные цивилизации ослабевает, и характерные для них тенденции проявляются все более явно. Более того, эти тенденции не могут не усиливаться, поскольку потребность в становлении третьего типа воспроизводства населения становится все более выраженной.

Отметим, что институт токал в Республике Казахстан уже де-факто во многом отвечает именно третьему типу воспроизводства населения. Многие молодые токал действительно занимают промежуточное (между взрослыми и детьми в традиционном понимании этих терминов) положение. Они являются взрослыми биологически, обеспечивая воспроизводство населения, но остаются детьми социально, во всяком случае, в финансовом отношении и в отношении механизмов социальной защиты.

С одной стороны, такое положение дел также можно трактовать с позиций «реинкарнации архаики», точнее, возврата к консервативным ценностям, характерным для прошлых столетий. Но, более детальное рассмотрение данного вопроса отчетливо показывает, что институт токал стремительно модернизируется. Многие из них пользуются своим положением в целях самореализации, наработки социального капитала и т.д. Иными словами, они действительно проходят через процесс социального взросления как личности, производя при этом потомство. Это и позволяет утверждать, что тенденции, отвечающие третьему типу воспроизводства населения, уже формируются в Республике Казахстан.

Это возвращает к поиску адекватного ответа на вызовы, связанные с формированием LGBT-повестки в странах геополитического Запада.

Структура семьи безальтернативно будет трансформироваться в силу объективных причин. Чем выше будет продолжительность жизни, тем больше (при условии сохранения традиционных форм семейно-брачных отношений) будет разрыв между возрастами биологического и социального взросления, который и порождает кризис традиционной моногамной семьи.

Данное противоречие рано или поздно будет разрешено тем или иным способом. Однако предпочтительнее сделать соответствующие процессы управляемыми, т.е. принимать решения не постфактум (т.е. реагируя на уже сформировавшиеся тенденции), но действовать с опережением.

Учитывая, что идеологи Российской Федерации уже оказались в «ловушке очевидности», выход из которой найти будет весьма непросто (хотя бы только в силу инерционности пропагандистской машины), гуманитарное сообщество Республики Казахстан имеет все возможности для того, чтобы сделать соответствующие выводы.

Один из них лежит на поверхности. «Догоняющий» всегда оказывается в проигрыше. Намного более эффективной является «игра на опережение», особенно, если принять во внимание, что казахстанский социокультурный код предоставляет для этого все возможности. Третий тип воспроизводства населения в Казахстане может быть реализован намного более простым и безболезненным путем – во всяком случае, в сравнении со странами геополитического Запада.

Более того, он уже отчасти реализуется на практике. Институт токал во многом уже отвечает схеме рисунка 12, т.е. тенденции, демонстрирующие переход к третьему типу воспроизводства населения, уже налицо. Для наглядности данную схему можно перерисовать в форме, уже отвечающей казахстанским реалиям (рисунок 13).

Разумеется, ставить вопрос о законодательной легализации института токал на основе материалов одной только этой статьи преждевременно. Необходима взвешенная проработка данного вопроса, основой которой, впрочем, может быть только беспристрастный и объективный научный анализ. Любые проявления эмоций здесь могут принести ощутимый вред.

В то же время, нельзя не отметить, что научное исследование поставленной проблемы далеко выходит за рамки отдельно взятой научной дисциплины, т.е. демографии в ее сложившейся форме. Необходима теснейшая кооперация широко спектра наук, причем не только гуманитарных.

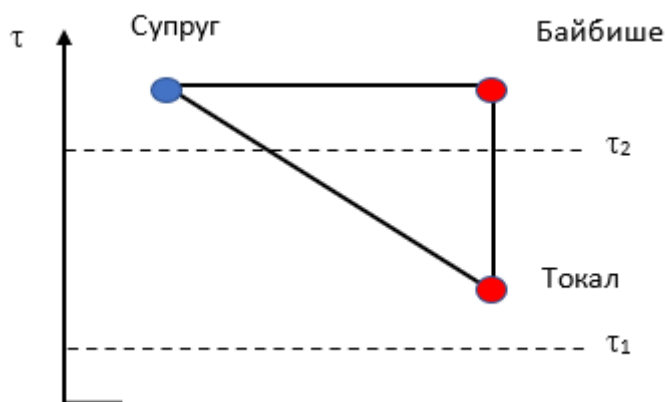


Рисунок 13 – Адаптация института токал к третьему типу воспроизводства населения;  $\tau_{1,2}$  – возрасты биологического и социального взросления, соответственно

Это вытекает, в том числе, из того, что рассматриваемые вопросы самым тесным образом связаны с общей проблематикой становления и развития социокультурного кода (этот термин приходит на смену устаревшему понятию «менталитет»). В работах [33–35], с свою очередь, показано, что изучение социокультурного кода требует теснейшей интеграции между гуманитарными и естественнонаучными дисциплинами, так как формирование данного кода протекает на уровне надличностных информационных структур, изучение которых сугубо гуманитарными методами невозможно.

В особенности это относится к задаче целенаправленной модернизации социокультурного кода (то, что такая задача, в принципе, является решаемой, демонстрируют, в том числе, и исторические примеры, рассмотренные в работе [36]).

### Заключение

Таким образом, кризис классической моногамной семьи рано или поздно заставит обратиться к вопросу о том, какие именно формы семейно-брачных отношений должны прийти к ней на смену. Нет никаких оснований полагать, что разрешение этого кризиса будет происходить одинаково в различных странах мира, особенно, если принять во внимание существенные отличия социокультурного кода. Как справедливо отмечается даже в столь осторожно написанных работах как [4], «судя по современным тенденциям развития семьи в обозримом будущем она будет продолжать изменяться в направлении плюрализации форм».

LGBT-повестку (равно как и ее модификации), активно продвигаемую в странах геополитического Запада, в таких условиях следует рассматривать, прежде всего, как подготовку к становлению нового типа семьи, отвечающей третьему типу воспроизводства населения. Есть все основания полагать, что инициаторы данного проекта запустили его, с одной стороны, для того, чтобы подготовить общество к формированию вариативных типов семьи, а, с другой стороны, чтобы новый семейный уклад сформировался в результате естественной конкуренции между многими формами.

Существенно, что многие формы «нетрадиционной» семьи де-факто представляют собой скрытую полигамию, признать которую для стран геополитического Запада неприемлемо по идеологическим соображениям.

Для Республики Казахстан, равно как и для других стран, в которых сохраняется выраженное влияние социокультурного кода исламской цивилизации, нет необходимости прибегать к столь сложным манипуляциям.

В условиях, когда семейно-брачный уклад претерпевает существенные трансформации (причем на глобальном уровне), допустимо поставить вопрос, например, о модернизации института токал, нацеленного на обеспечение максимально эффективного перехода к зарождающемуся третьему (постиндустриальному) типу воспроизводства населения.

Вопрос о легализации данного института, разумеется, требует, как минимум, дополнительного обсуждения, но то, что данная тема должна получить дальнейшую научную проработку, уже не вызывает сомнений.

### **Литература:**

1. Грэхэм Л. Сможет ли Россия конкурировать?: История инноваций в царской, советской и современной России – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 272 с.
2. Орлова Л.Н. Инновационная экономика: факторы и противоречия развития, уровни формирования // Вестник евразийской науки. – 2015. – Т. 7. – №. 3 (28). – С. 57.
3. Фетисов Ю. В. Рецензия на книгу Лорен Грэхэм «Сможет ли Россия конкурировать? История инноваций в царской, советской и современной России» // Управление наукой и наукометрия. – 2016. – №. 4. – С. 165–170.
4. Ерофеева К. Л. Диалектика семьи: методологический потенциал русской философии XIX–XX вв. И современные противоречия // Известия высших учебных заведений. Сер.: Гуманитарные науки. – 2017. – Т. 8. – №. 2. – С. 118–124.
5. Ермухамбетова Б.Б., Сулейменов И.Э., Мун Г.А. Анализ характера боестолкновений на территории Украины с точки зрения философии техники // Известия НТО «КАХАК». – 2022. – № 3–4(78). – С.5–15.
6. Сорокина Е.А. Институт семьи: кризис или трансформация? / Е. А. Сорокина // Научные исследования и разработки: приоритетные направления и проблемы развития: Сборник научных трудов по материалам X Международного междисциплинарного форума молодых ученых, Калининград, 10 сентября 2017 года. – Калининград: НОО "Профессиональная наука". – 2017. – С. 184–198.
7. Щавелев С.П. Семья сегодня: иллюзорные надежды и многообразие возможностей / С. П. Щавелев // Современные тенденции экономики, управления и образования: Материалы международной научно-практической конференции, Курск, 11 апреля 2017 года. – Курск: Курский институт кооперации (филиал) Автономной некоммерческой организации высшего профессионального образования "Белгородский университет кооперации, экономики и права". – 2017. – С. 326–333.
8. Антонов А.И., Борисов В.А. Кризис семьи и пути его преодоления. Научный доклад. – М.: Институт социологии семьи АН СССР. – 1990. – 36 с.
9. Имидеева И.В., Бадараева Р.В., Кованова Е.С. Демографическая компонента национальной безопасности // Демис. Демографические исследования/DEMIS. Demographic Research. – 2023. – Т. 3. – №. 1. – С. 12–23.
10. Slootmaeckers K. Constructing European Union identity through LGBT equality promotion: Crises and shifting othering processes in the European Union enlargement // Political Studies Review. – 2020. – 18(3). – P. 346–361.

11. Michelson M. R. The power of visibility: Advances in LGBT rights in the United States and Europe // *The journal politics*. – 2018. – 81(1). – P.1–7.
12. Сулейменов И. Э., Пак И. Т., Бакиров А. С., Ирмухаметова Г. С., Мун Г. А. Информационные войны 21-го века: стремительная трансформация. – Алматы, 2017. – 233 с.
13. Витулева Е.С. Инновационные идеи и концепты как фактор информационной войны / Е. С. Витулева, Д. Д. Буркальцева, И. Э. Сулейменов // *Дистанционные образовательные технологии: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Ялта, 20–22 сентября 2021 года*. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2021. – С. 354–357.
14. Suleimenov I.E., Gabrielyan O.A., Malenko S.A., Vitulyova Y.S., Nekita A.G. Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. In D. Y. Krapchunov, S. A. Malenko, V. O. Shipulin, E. F. Zhukova, A. G. Nekita, & O. A. Fikhtner (Eds.), // *Perishable And Eternal: Mythologies and Social Technologies of Digital Civilization*. – 2019. - Vol 120. – P. 247–255.
15. Виноградов И.А. Гоголь и Уваров: православие, самодержавие, народность // *Вестник Российского гуманитарного научного фонда*. – 2001. – №. 1. – С. 83–91.
16. Чекменева Л. Ю., Балина Т. А. Ожидаемая продолжительность жизни населения в России и мире // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: География и геоэкология*. – 2019. – №. 3. – С. 5–13.
17. Сухарев А. И. Институциональная политика: идеологический аспект // *Безопасность Евразии*. – 2005. – №. 1. – С. 289–311.
18. Надыршин Т. М. Школа в советских этнографических исследованиях с 1937 по 1953 гг. по материалам журнала «Советская этнография» // *Genesis: исторические исследования*. – 2021. – №. 12. – С. 157-170.
19. Сулейменов И.Э., Габриелян О.А., Седлакова З.З., Мун Г.А. История и философия науки. – А.: Изд-во КазНУ, 2018. – 406 с.
20. Official web-site of United Nations <https://www.un.org/>
21. Douglass, C. B. *Barren states: the population implosion in europe*. – Routledge, 2020. – 280 p.
22. Grundy E., Foverskov E. Age at first birth and later life health in Western and Eastern Europe // *Population and Development Review*. – 2016. – P. 245–269.
23. Kalter F., Jonsson J., Van Tubergen F., Heath A. *Growing up in diverse Europe. The Integration of the Children of Immigrants in England, Germany, Netherlands and Sweden* – Oxford: Oxford University Press. [Google Scholar].
24. Chrisholm L., Büchner P., Krüger H. H. *Growing up in Europe: Contemporary horizons in childhood and youth studies* // *Walter de Gruyter GmbH & Co KG*. – 2020. – Vol. 2. – 314 p.
25. Chandra-Mouli V., Ferguson B. J., Plesons M., Paul M., Chalasani S., Amin A., Engel D. M. C. The political, research, programmatic, and social responses to adolescent sexual and reproductive health and rights in the 25 years since the International Conference on Population and Development. *Journal of Adolescent Health*. – 2019. – Vol.65(6). – P.16-40.
26. Klesse C. Polyamorous parenting: Stigma, social regulation, and queer bonds of resistance // *Sociological Research Online*. – 2019. – Vol.24(4). – P. 625–643.
27. Moret J., Andrikopoulos A., Dahinden J. Contesting categories: cross-border marriages from the perspectives of the state, spouses and researchers // *Journal of Ethnic and Migration Studies*. – 2021. – 47(2). – P. 325–342.
28. Сатоко К. Эрос и революция: теория А. Коллонтай // *Новый филологический вестник*. – 2009. – Т. 9. – № 2. – С. 124–131.
29. Юрьева А.В. Дома-коммуны для рабочей молодежи в 20-е годы XX века как политический манифест // *Молодежная политика России в контексте глобальных мировых перемен*. – 2018. – С. 456-459.



30. Энгельс Ф. Происхождение семьи, частной собственности и государства. – М.: Политиздат, 1980. – 238 с.
31. Suleimenov I.E., Gabrielyan O.A., Bakirov A.S. Neural Network Approach to the Interpretation of Ancient Chinese Geomancy Feng Shui Practices // *European Journal of Science and Theology*. – 2023. – Vol.19. – №2. – P.39-51.
32. Проникновенный анализ лесбийской семьи, разбор ее оправданий и ее же беспощадная критика: Цветаева М.И. Письмо к амазонке // Полное собрание поэзии, прозы, драматургии в одном томе. – М.: АСТ, 2008. – С. 779–785.
33. Suleimenov I.E., Gabrielyan O.A., Bakirov A.S. Neural Network Approach to the Interpretation of Ancient Chinese Geomancy Feng Shui Practices, *European Journal of Science and Theology*. – 2023. – Vol.19. – №2. – P. 39–51.
34. Мун Г.А., Сулейменов И.Э., Габриелян О.А., Бакиров А.С., Витулева Е.С., Коньшин С.В., Матрасулова Д.К. Открытие № 71-S «Закономерность формирования надличностных информационных структур» // Российская академия естественных наук, международная ассоциация авторов научных открытий. – М. – 2021.
35. Сулейменов И.Э., Масалимова А.Р., Витулева Е.С., Шалтыкова Д.Б., Мун Г.А. Идеология феминизма с точки зрения теории нейронных сетей и проблематики искусственного интеллекта // *Известия НТО «КАХАК»*. – 2021. – № 2(73). – С. 37–49.
36. Сулейменов И.Э., Масалимова А.Р., Бакиров А.С., Витулева Е.С. Учение суфиев с точки зрения нейросетевой теории ноосферы // *Вестник КазНУ, Сер. Религиоведение*. – 2022. – Т. 32. – №4. – С. 3–13.

#### References:

1. Grjehjem L. Smozhet li Rossija konkurirovat'?: Istorija innovacij v carskoj, sovetskoj i sovremennoj Rossii – М.:Mann, Ivanov i Ferber, 2014. – 272 s.
2. Orlova L.N. Innovacionnaja jekonomika: faktory i protivorechija razvitija, urovni formirovanija // *Vestnik evrazijskoj nauki*. – 2015. – Т. 7. – №. 3 (28). – S. 57.
3. Fetisov Ju. V. Recenzija na knigu Loren Grjehjem «Smozhet li Rossija konkurirovat'? Istorija innovacij v carskoj, sovetskoj i sovremennoj Rossii» // *Upravlenie naukoj i naukometrija*. – 2016. – №. 4. – S. 165–170.
4. Erofeeva K. L. Dialektika sem'i: metodologicheskij potencial russkoj filosofii hih–hh vv. I sovremennye protivorechija // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Ser.: Gumanitarnye nauki*. – 2017. – Т. 8. – №. 2. – S. 118–124.
5. Ermuhambetova B.B., Sulejmenov I.Je., Mun G.A. Analiz haraktera boestolknovenij na territorii Ukrainy s točki zrenija filosofii tehnik // *Izvestija NTO «КАНАК»*. – 2022. – № 3–4(78). – S.5–15.
6. Sorokina E.A. Institut sem'i: krizis ili transformacija? / E. A. Sorokina // *Nauchnye issledovanija i razrabotki: prioritetye napravlenija i problemy razvitija: Sbornik nauchnyh trudov po materialam X Mezhdunarodnogo mezhdisciplinarnogo foruma molodyh uchenyh, Kaliningrad, 10 sentjabrja 2017 goda*. – Kaliningrad: NOO "Professional'naja nauka". – 2017. – S. 184–198.
7. Shhavelev S.P. Sem'ja segodnja: iljuzornye nadezhdy i mnogoobrazie vozmozhnostej / S. P. Shhavelev // *Sovremennye tendencii jekonomiki, upravlenija i obrazovanija: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii, Kursk, 11 aprelja 2017 goda*. – Kursk: Kurskij institut kooperacii (filial) Avtonomnoj nekommerčeskoj organizacii vysshego professional'nogo obrazovanija "Belgorodskij universitet kooperacii, jekonomiki i prava". – 2017. – S. 326–333.
8. Antonov A.I., Borisov V.A. Krizis sem'i i puti ego preodolenija. Nauchnyj doklad. – М.: Institut sociologii sem'i AN SSSR. – 1990. – 36 s.
9. Imideeva I.V., Badaraeva R.V., Kovanova E.S. Demograficheskaja komponenta nacional'noj bezopasnosti // *Demis. Demograficheskie issledovanija/DEMIS. Demographic Research*. – 2023. – Т. 3. –

№. 1. – S. 12–23. Sloomaeckers K. Constructing European Union identity through LGBT equality promotion: Crises and shifting othering processes in the European Union enlargement // *Political Studies Review*. – 2020. – 18(3). – P. 346–361.

10. Michelson M. R. The power of visibility: Advances in LGBT rights in the United States and Europe // *The journal politics*. – 2018. – 81(1). – P.1–7.

11. Michelson M. R. The power of visibility: Advances in LGBT rights in the United States and Europe // *The journal politics*. – 2018. – 81(1). – P.1–7.

12. Sulejmenov I. Je., Pak I. T., Bakirov A. S., Irmuhametova G. S., Mun G. A. Informacionnye vojny 21-go veka: stremitel'naja transformacija. – Almaty, 2017. – 233 s.

13. Vituleva E.S. Innovacionnye idei i koncepty kak faktor informacionnoj vojny / E. S. Vituleva, D. D. Burkal'ceva, I. Je. Sulejmenov // *Distancionnye obrazovatel'nye tehnologii: Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Jalta, 20–22 sentjabrja 2021 goda*. – Simferopol': Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju «Izdatel'stvo Tipografija «Arial», 2021. – S. 354–357.

14. Suleimenov I.E., Gabrielyan O.A., Malenko S.A., Vitulyova Y.S., Nekita A.G. Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. In D. Y. Krapchunov, S. A. Malenko, V. O. Shipulin, E. F. Zhukova, A. G. Nekita, & O. A. Fikhtner (Eds.), // *Perishable And Eternal: Mythologies and Social Technologies of Digital Civilization*. – 2019. - Vol 120. – P. 247–255.

15. Vinogradov I.A. Gogol' i Uvarov: pravoslavie, samodержavie, narodnost' // *Vestnik Rossijskogo gumanitarnogo nauchnogo fonda*. – 2001. – №. 1. – S. 83–91.

16. Chekmeneva L. Ju., Balina T. A. Ozhidaemaja prodolzhitel'nost' zhizni naselenija v Rossii i mire // *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geografija i geojekologija*. – 2019. – №. 3. – S. 5–13.

17. Suharev A. I. Institucional'naja politika: ideologičeskij aspekt // *Bezopasnost' Evrazii*. – 2005. – №. 1. – S. 289–311.

18. Nadyrshin T. M. Shkola v sovetskih jetnograficheskih issledovanijah s 1937 po 1953 gg. po materialam zhurnala «Sovetskaja jetnografija» // *Genesis: istoričeskie issledovanija*. – 2021. – №. 12. – S. 157-170.

19. Sulejmenov I. Je., Gabrieljan O.A., Sedlakova Z.Z., Mun G.A. Istorija i filosofija nauki. – A.: Izd-vo KazNU, 2018. – 406 s.

20. Official web-site of United Nations <https://www.un.org/>

21. Douglass, C. B. *Barren states: the population implosion in europe*. – Routledge, 2020. – 280 p.

22. Grundy E., Foverskov E. Age at first birth and later life health in Western and Eastern Europe // *Population and Development Review*. – 2016. – P. 245–269.

23. Kalter F., Jonsson J., Van Tubergen F., Heath A. *Growing up in diverse Europe. The Integration of the Children of Immigrants in England, Germany, Netherlands and Sweden* – Oxford: Oxford University Press. [Google Scholar].

24. Chrisholm L., Büchner P., Krüger H. H. *Growing up in Europe: Contemporary horizons in childhood and youth studies* // Walter de Gruyter GmbH & Co KG. – 2020. – Vol. 2. – 314 p.

25. Chandra-Mouli V., Ferguson B. J., Plesons M., Paul M., Chalasani S., Amin A., Engel D. M. C. The political, research, programmatic, and social responses to adolescent sexual and reproductive health and rights in the 25 years since the International Conference on Population and Development. *Journal of Adolescent Health*. – 2019. – Vol.65(6). – P.16-40.

26. Klesse C. Polyamorous parenting: Stigma, social regulation, and queer bonds of resistance // *Sociological Research Online*. – 2019. – Vol.24(4). – P. 625–643.

27. Moret J., Andrikopoulos A., Dahinden J. Contesting categories: cross-border marriages from the perspectives of the state, spouses and researchers // *Journal of Ethnic and Migration Studies*. – 2021. – 47(2). – P. 325–342.

28. Satoko K. Jeros i revoljucija: teorija A. Kollontaj // *Novyj filologičeskij vestnik*. – 2009. – T. 9. – № 2. – S. 124–131.

29. Jur'eva A.V. Doma-kommuny dlja rabochej molodezhi v 20-e gody HH veka kak politicheskij manifest // Molodezhnaja politika Rossii v kontekste global'nyh mirovyh peremen. – 2018. – S. 456–459.
30. Engels F. Proishozhdenie sem'i, chastnoj sobstvennosti i gosudarstva. – M.: Politizdat, 1980. – 238 s.
31. Suleimenov I.E., Gabrielyan O.A., Bakirov A.S. Neural Network Approach to the Interpretation of Ancient Chinese Geomancy Feng Shui Practices // European Journal of Science and Theology. – 2023. – Vol.19. – №2. – P.39-51.
32. Proniknovennyj analiz lesbijskoj sem'i, razbor ee opravdaniï i ee zhe besposhhdnaja kritika: Cvetaeva M.I. Pis'mo k amazonke // Polnoe sobranie poezzii, prozy, dramaturgii v odnom tome. – M.: AST, 2008. – S. 779–785.
33. Suleimenov I.E., Gabrielyan O.A., Bakirov A.S. Neural Network Approach to the Interpretation of Ancient Chinese Geomancy Feng Shui Practices, European Journal of Science and Theology. – 2023. – Vol.19. – №2. – P. 39–51.
34. Mun G.A., Sulejmenov I.Je., Gabrieljan O.A., Bakirov A.S., Vituleva E.S., Kon'shin S.V., Matrasulova D.K. Otkrytie № 71-S «Zakonomernost' formirovanija nadlichnostnyh informacionnyh struktur» // Rossijskaja akademija estestvennyh nauk, mezhdunarodnaja asociacija avtorov nauchnyh otkrytij. – M. – 2021.
35. Sulejmenov I.Je., Masalimova A.R., Vituleva E.S., Shaltykova D.B., Mun G.A. Ideologija feminizma s točki zrenija teorii nejronnyh setej i problematiki iskusstvennogo intellekta // Izvestija NTO «КАНАК». – 2021. – № 2(73). – S. 37–49.
36. Sulejmenov I.Je., Masalimova A.R., Bakirov A.S., Vituleva E.S. Uchenie sufiev s točki zrenija nejrosetevoj teorii noosfery // Vestnik KazNU, Ser. Religiovedenie. – 2022. – T. 32. – №4. – S. 3–13.

*Поступила 4 марта 2023 г.*

## МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

MRSTI 27.15

UDC 511

### ADAPTIVE CRYPTOSYSTEMS AND ASYMMETRIC RSA ENCRYPTION

MUN A. S.

International Informatization Academy, Almaty, Republic of Kazakhstan

e-mail: mun.alex@mail.ru

*This paper presents new encryption algorithms based on a simple power equation. An example of calculating prime and composite numbers for a power equation is given. An approach is indicated for solving a simple power equation in integers for a real value  $X$ . Based on the methodology of adaptive cryptosystems, a simple algorithm is constructed for information encryption in data transmission systems. An example of asymmetric RSA encryption with binding to a certain table of prime numbers is given. Encryption algorithm that changes depending on confidentiality level of transmitted information is shown. The basis for further construction of cryptographic systems is laid down.*

*Keywords: cryptography, RSA, Fermat, prime numbers, encryption, algorithms, coding.*

*Жұмыста қарапайым дәрежелік деңгей негізіндегі жаңа алгоритмді шифрландыру көрсетілген. Дәрежелік теңдеу үшін жай және құрама сандарды есептеу мысалы келтірілген.  $X$  нақты сақтау үшін бүтін сандағы қарапайым қуат тең деуін шешу тәсілі көрсетілген. Бейімделетін криптожүйенің әдістемесі негізінде деректерді жіберу жүйесіндегі ақпаратты шифрландырудың қарапайым алгоритмі құрылды. RSA ассиметриялық шифрландыру жай сандардың белгілі бір кестесіне байланыстыру бойынша мысал көрсетілген. Берілетін ақпараттың құпиялық деңгейіне байланысты өзгеріп отыратын шифрландыру алгоритмі көрсетілді. Криптографиялық жүйені одан әрі құру жұмыстарының негізі салынды.*

*Түйінді сөздер: криптография, RSA, Ферма, жай сандар, шифрландыру, алгоритмдер, кодтау.*

*В данной работе приведены новые алгоритмы шифрования на основе простого степенного уравнения. Приведен пример вычисления простых и составных чисел для  $n = 3$  степенного уравнения. Указан подход для решения простого степенного уравнения в целых числах для вещественного значения  $X$ . На основе методологии адаптивных криптосистем построен простой алгоритм шифрования информации в системах передачи данных. Приведен пример ассиметричного шифрования RSA с привязкой к определенной таблице простых чисел. Показан алгоритм шифрования, который меняется в зависимости от степени секретности передаваемой информации. Заложены основы для дальнейших построений криптографических систем.*

*Ключевые слова: криптография, RSA, Ферма, простые числа, шифрование, алгоритмы, кодирование.*

#### Introduction

Encryption techniques have been used since ancient times [1–4]. The need to transmit sensitive information in personal, military and political correspondence gave rise to encryption methods.

The most rapid development of cryptography as we know it nowadays can be observed in the 20th century [5]. Because of the importance of cryptographic methods for state secrets, many works in this field were classified.

After the second half, beginning in the 50s, publications in the academic environment appeared [5]. At present the search for new encryption methods continues.

The most widely used method is RSA asymmetric encryption (Rivest R., Shamir A., Adleman L.) [6].

This article discusses new encryption algorithms and modifications to RSA asymmetric encryption.

Consider a simple power-law equation:

$$X^n + Y^n = Z^n$$

Where  $n$  is a natural number,  $Y, Z$  are integers,  $X$  is a real number.

Let's introduce a substitute:

$$Z = Y + i$$

We get it:

$$X^n + Y^n = (Y + i)^n$$

In the case for  $n = 3$  we have:

$$X^3 + Y^3 = (Y + i)^3$$

$$X^3 = (Y + i)^3 - Y^3 = 3Y^2 i + 3Yi^2 + i^3 = i(3Y(Y + i) + i^2)$$

Consider the expression:

$$3Y(Y + i) + i^2 \quad (1)$$

Let :

$$1. i = 1, 3Y(Y + 1) + 1 \quad (2)$$

$$Y = 1, 3 \cdot 2 + 1 = 7 - \text{prime number}$$

$$Y = 2, 3 \cdot 2 \cdot 3 + 1 = 19 - \text{prime number}$$

$$Y = 3, 3 \cdot 3 \cdot 4 + 1 = 37 - \text{prime number}$$

$$Y = 4, 3 \cdot 4 \cdot 5 + 1 = 61 - // -$$

$$Y = 5, 3 \cdot 5 \cdot 6 + 1 = 91 = 7 \cdot 13 \text{ composite number}$$

$$Y = 6, 3 \cdot 6 \cdot 7 + 1 = 127 - // -$$

$$Y = 7, 3 \cdot 7 \cdot 8 + 1 = 167 - // -$$

$$Y = 8, 3 \cdot 8 \cdot 9 + 1 = 217 = 7 \cdot 31 \text{ composite number}$$

$$Y = 9, 3 \cdot 9 \cdot 10 + 1 = 271 - // -$$

$$Y = 10, 3 \cdot 10 \cdot 11 + 1 = 331 - // -$$

$$Y = 11, 3 \cdot 11 \cdot 12 + 1 = 397 - // -$$

$$Y = 12, 3 \cdot 12 \cdot 13 + 1 = 467 - // -$$

$$Y = 13, 3 \cdot 13 \cdot 14 + 1 = 547 - // -$$

$$Y = 14, 3 \cdot 14 \cdot 15 + 1 = 631 - // -$$

$$Y = 15, 3 \cdot 15 \cdot 16 + 1 = 721 = 7 \cdot 103 \text{ composite number}$$

$$Y = 16, 3 \cdot 16 \cdot 17 + 1 = 817 = 19 \cdot 43 \text{ composite number}$$

$$Y = 17, 3 \cdot 17 \cdot 18 + 1 = 919 - // -$$

$$Y = 18, 3 \cdot 18 \cdot 19 + 1 = 1027 = 13 \cdot 79 \text{ composite number}$$

$$Y = 19, 3 \cdot 19 \cdot 20 + 1 = 1141 = 7 \cdot 163 \text{ composite number}$$

$$Y = 20, 3*20*21 + 1 = 1261 = 13*97 \text{ composite number}$$

$$Y = 21, 3*21*22 + 1 = 1387 = 19*73 \text{ composite number}$$

$$Y = 22, 3*22*23 + 1 = 1519 = 7*7*31 \text{ composite number}$$

$$Y = 23, 3*23*24 + 1 = 1657 \text{ prime number}$$

$$Y = 24, 3*24*25 + 1 = 1801 \text{ prime numbers}$$

$$Y = 25, 3*25*26 + 1 = 1951 \text{ prime number}$$

and beyond.

Similar tables of numbers can be made for  $i > 1$ .

Here are some algorithms for encrypting messages and transmitting them over unsecured communication channels.

Let  $S$  be some message,  $t$  be an encrypted message which is transmitted to the recipient.

Let's use formula (2) for encryption:

$$t = 3*S*(S + 1) + 1$$

Use the following formulas to decipher:

$$d = (t - 1)/3$$

$$S(S + 1) = d$$

Calculate, find a number  $S$  that does not exceed  $d$ , and the product of  $S$  and  $S + 1$  will be  $d$ . The number  $S$  will be the source text. If you increase the number  $d$ , the number of calculations to find the source text increases by a multiple.

Examples:

1.  $S = 01$

$$t = 3*1*2 + 1 = 7$$

$$S*(S + 1) = (7 - 1)/3 = 2 = 1*(1 + 1)$$

$$S = 01$$

2.  $S = 02$

$$t = 3*2*3 + 1 = 19$$

$$S*(S + 1) = (19 - 1)/3 = 6 = 2*3$$

$$S = 02$$

3.  $S = 101$

$$t = 3*101*102 + 1 = 30\ 907$$

$$S*(S + 1) = (30\ 907 - 1)/3 = 10\ 302 = 2*3*17*101 = 101*102$$

$$S = 101$$

As the number  $S$  increases, the decoding of message  $d$  causes certain difficulties, related to the decomposition of large numbers into prime factors and finding the sequence of numbers  $S$  and  $S + 1$ .

Use formula (1) for  $i > 1$  to increase transmission reliability.

We encode it using the formula:

$$t = 3*S*(S + i) + i^2$$

Deciphering by formula:

$$S*(S + i) = (t - i^2)/3$$

Denote:

$$d = (t - i^2) / 3$$

then:

$$S*(S + i) = d$$

$$S^2 + i*S - d = 0$$

The solution to the quadratic equation is there:

$$j = i^2 + 4*d$$

$$S = (-i + j) / 2$$

Since  $S > 0$ , we have:

$$S = (-i + j) / 2$$

The number  $i$  specifies, depending on the level of secrecy of the information to be transmitted, the transmitter.

The number of  $i$  in the encryption system can vary and adapt depending on the threats to the encryption system.

Examples of encryption:

$$i = 105$$

1.  $S = 01$

Encryption:

$$t = 3*1*(1 + 105) + 105^2 = 318 + 11025 = 11343$$

Decoding:

$$d = (11343 - 11025) / 3 = 106$$

$$j = 11025 + 4*106 = 11449$$

$$S = (-105 + 107) / 2 = 1$$

$$S = 01$$

2.  $S = 02$

Encryption:

$$t = 3*2*(2 + 105) + 105^2 = 642 + 11025 = 11667$$

Decoding:

$$d = (11667 - 11025) / 3 = 214$$

$$j = 11025 + 4*214 = 11881$$

$$S = (-105 + 109) / 2 = 2$$

$$S = 02$$

This encryption technique can be classified as a direct, adaptive method in cryptography.

Here are some examples of encryption algorithms for  $n = 3$ , for  $n > 3$  limitless cryptographic methods open up.

Let us consider an example of the application of the proposed algorithms in RSA asymmetric encryption [6].

Choose  $p$  and  $q$  according to table (2) of prime numbers for  $Y = 1$ ,  $Y = 2$ :

$$p = 7, q = 19$$

then  $n = 7 \cdot 19 = 133$ ,  $f(n) = (7 - 1) \cdot (19 - 1) = 6 \cdot 18 = 108 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3$

Choose a prime number  $e = 17$  that has no common divisors with the number 108.

The expression  $e \cdot d - 1$  must be divisible by  $f(n)$  without a remainder, i.e. and the ratio takes place:

$$(e \cdot d - 1) / f(n) = k, \text{ where } k \text{ is an integer.}$$

Let's rewrite this formula:

$$e \cdot d = f(n) \cdot k + 1 \quad (3)$$

To select a number  $d$ , let:

$$k = n = 133 \quad (4)$$

we get the formula:

$$17 \cdot d = 108 \cdot 133 + 1$$

Then  $d = 845$ .

Let's encrypt the short text  $S = 02$ .

Encryption key  $(e, n) = (17, 133)$ .

RSA encryption formula:

$$t = S^e - [S^e / n] \cdot n, \text{ where } [...] \text{ is the integer part of the division.}$$

Get the encrypted text:

$$t = 2^{17} - [2^{17} / 133] \cdot 133 = 67$$

Decryption key  $(d, n) = (845, 133)$ .

RSA decryption formula:

$$S = t^d - [t^d / n] \cdot n$$

$$S = 67^{845} - [67^{845} / 133] \cdot 133 = 02$$

$$67^{845} = 1.079464296 \cdot 10^{1543} - \text{a very large number.}$$

This asymmetric RSA encryption algorithm has received the most widespread use in various data transmission systems. This method requires considerable computational power, as a simple example of information encryption shows.

There is a serious flaw in the RSA method, as formula (4) shows. The number  $d$  is easy to calculate.

An adaptive algorithm is required for the transmission of highly sensitive messages, which can change as attacks are detected against the system. The specified encryption algorithms are designed for such threats.

## Conclusion

The development of new encryption algorithms, due to the rapid development of information technology, is of considerable interest.

This paper presents adaptive encryption algorithms, an asymmetric RSA encryption algorithm using a special table of prime numbers. This technique can be used for further study and creation of new encryption algorithms. Formulas for calculating prime numbers on the basis of a simple power equation are found. Tables of prime and composite numbers can be used in number theory. The simple power equation for  $n > 3$  requires further investigation and systematization of calculation results. The field of this work remains open.



**References:**

1. Mun A.S. Directions for solutions of the great Fermat's theorem // Review of AST «КАНАК». – 2021. – №4(75). – С.49–56.
2. Mun A.S. Some properties of numbers and Beale's hypothesis // Review of AST «КАНАК». – 2022. – №1(76). – С.74–82.
3. Mun A.S. Prime numbers and Euler's hypothesis // Review of AST «КАНАК». – 2022. – №2(77). – P.38–46.
4. Arshinov M.N., Sadovsky L.E. Codes and Mathematics (Tales of Coding). – М.: Nauka, 1983. – 144с.
5. Schneier B. Applied Cryptography. 2nd edition. – Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 1996. – 1027 p.
6. Rivest R., Shamir A., Adleman L. A method for obtaining digital signatures and public – key cryptosystems // Commun. ASM – New York: Association for Computing Machinery, 1978. – Vol. 21, Iss.2. – P.120–126. – doi: 10.1145 / 359340.359342.

*Поступила 20 января 2023 г.*

МРНТИ 37.15.21

УДК 550.38 550 343(375.1)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПЕРИОДА ЕГО ПОДГОТОВКИ КАК ПРОЦЕССА, РАЗВИВАЮЩЕГОСЯ В РЕЖИМЕ С ОБОСТРЕНИЕМ

**Нагорный В.В.**

Сумской государственной университет, г. Сумы, Украина

e-mail: v.nahornyi@cs.sumdu.edu.ua

*Рассмотрена методика прогнозирования землетрясений. Методика основана на допущении о том, что процесс подготовки землетрясения можно отнести к процессам, развивающимся в режиме с обострением. Траектория изменения с течением времени контролируемого параметра (прогностического признака) состоит из двух составляющих. Одна составляющая представляет собой гладкий монотонно изменяющийся тренд. Вторая составляющая является периодически изменяющейся функцией. В качестве модели периодической составляющей используется логопериодическая функция. Период колебаний этой функции за время наблюдения за развивающимся землетрясением последовательно уменьшается. Данное свойство логопериодической функции служит предвестником приближающегося землетрясения. Идентификация параметров логопериодической функции позволяет заранее прогнозировать время землетрясения. Свойства методики продемонстрированы на примере ретро прогноза двух землетрясений, проведенного на основе исходных данных, полученных учеными-сейсмологами на наблюдательных скважинах размещенных на ст. Алма-Арасан и ст. Тау-Тургень Республики Казахстан. Результаты апробирования методики подтвердили предположение о том, что процесс подготовки землетрясения можно сопоставить с процессом, развивающимся в режиме с обострением и получить на основе этого прогноз времени обострения сейсмообстановки в заданном сейсмоопасном регионе.*

**Ключевые слова:** *прогнозирование землетрясения, период подготовки землетрясения, режим с обострением, периодическая составляющая, логопериодическая функция, прогнозная модель, время землетрясения.*

*Жер сілкінісін болжау әдістемесі қарастырылды. Бұл әдіс жер сілкінісін дайындау үрдісін шиеленісу режимінде дамытын үрдістерге жатқызуға болады деген болжамға негізделген. Бақыланатын параметрдің (болжамды белгінің) уақыт бойынша өзгеру траекториясы екі компоненттен тұрады. Бірі тегіс, монотонды өзгеретін тренд болып табылады. Екіншісі мезгіл-мезгіл өзгеретін функция. Периодтық компоненттің моделі ретінде логопериодтық функция қолданылады. Дамып келе жатқан жер сілкінісін бақылау кезінде бұл функцияның тербеліс кезеңі дәйекті түрде азаяды. Логопериодтық функцияның бұл қасиеті жақындап келе жатқан жер сілкінісінің жаршысы ретінде қызмет етеді. Логопериодтық функцияның параметрлерін анықтау жер сілкінісінің уақытын алдын-ала болжауға мүмкіндік береді. Әдістеменің қасиеттері Қазақстан Республикасының Алма-Арасан және Тау-Түрген станцияларында орналасқан бақылау ұңғымаларында сейсмолог-ғалымдар алған бастапқы деректер негізінде жүргізілген екі жер сілкінісінің ретро болжамы мысалында көрсетілген. Әдістемені сынақтан өткізу нәтижелері жер сілкінісін дайындау үрдісін шиеленісу режимінде дамып келе жатқан үрдіспен салыстыруға болады*

және осының негізінде берілген сейсмикалық қауіпті аймақтағы сейсмикалық жағдайдың шиеленісу уақытының жорамалын алуға болады деген болжамды растады.

**Түйінді сөздер:** жер сілкінісін болжау, жер сілкінісіне дайындық кезеңі, шарықтау режимі, периодтық компонент, лог-периодтық функция, болжау моделі, жер сілкінісінің уақыты.

*The method of forecasting earthquakes is considered. The technique is based on the assumption that the earthquake preparation process can be attributed to the processes developing in the blow-up mode. The trajectory of change over time of the controlled parameter (prognostic indicator) consists of two components. One component is a smooth monotonically changing trend. The second component is a periodically changing function. A log-periodic function is used as a model of the periodic component. The oscillation period of this function during the time of observation of the developing earthquake consistently decreases. This property of the log-periodic function serves as a harbinger of an approaching earthquake. Identification of the parameters of the log-periodic function makes it possible to predict the time of an earthquake in advance. The properties of the technique are demonstrated on the example of a retro forecast of two earthquakes, carried out on the basis of the initial data obtained by seismologists at observation of the Republic of Kazakhstan wells located at st. Alma-Arasan and st. Tau-Turgen. The results of testing the methodology confirmed the assumption that the process of earthquake preparation can be compared with the process developing in the blow-up mode and, on the basis of this, a forecast of the aggravation time of the seismic situation in a given seismically hazardous region can be obtained.*

**Keywords:** earthquake prediction, earthquake preparation period, blow-up regime, periodic component, log-periodic function, forecasting model, earthquake time.

## Введение

Республика Казахстан расположена в сейсмоопасном регионе, поэтому проблеме прогнозирования землетрясений в ней и окружающих ее странах уделяется много внимания. В результате этого за последние 50-60 лет в этой области знаний получены многочисленные уникальные результаты [1, 2]:

- созданы геодинамические полигоны;
- организован мониторинг комплекса геолого-геофизических методов;
- доказано наличие достоверных и перспективных предвестников землетрясений и установлены их пространственно-временные закономерности;
- разработаны модели очага и процессов подготовки землетрясений.

Все это создало научные основы для создания эффективных методик прогнозирования землетрясений. Одна из подобных методик предлагается к рассмотрению в данной статье.

## Теоретическая часть

Исследования по разработке методики анализа предикторов землетрясений основывались на представлении периода подготовки землетрясения, как процесса, развивающегося в режиме с обострением.

Режим с обострением описывается динамическим законом, оперирующим величиной, значительно возрастающей за конечный промежуток времени [3].

Подобные режимы описываются следующим уравнением

$$\frac{dx}{dt} = x^{1+1/\alpha}. \quad (1)$$

Решение этого уравнения неограниченно возрастает при приближении к моменту обострения  $t_f$ :

$$x(t) \sim (t_f - t)^{-\alpha}. \quad (2)$$

Для получения приемлемого для практики решения (2) переходят от действительного показателя  $\alpha$  к комплексному  $\alpha + \beta i$ , что позволяет получить уравнение следующего вида:

$$x(t) = \operatorname{Re} \sum_k a_k (t_f - t)^{-\alpha + k\beta i} = (t_f - t)^{-\alpha} \cdot P(\log(t_f - t)) \quad (3)$$

Сомножитель  $P(\cdot)$  является логопериодической функцией (4).

$$P(t) = \left( a_1 \cos \left( \beta \cdot \operatorname{Ln} \frac{t_f - t}{\tau} \right) \right). \quad (4)$$

Выражение (3) представляет собой гладкий тренд, на который накладываются логопериодические колебания, служащие предвестниками приближения к моменту обострения  $t_f$  (в данном случае времени землетрясения). При  $t \rightarrow t_f$  частота колебаний  $\beta$  стремится к бесконечности, что отвечает требованиям динамического закона, которому следует режим с обострением. Непрерывное возрастание частоты  $\beta$  логопериодических колебаний позволяет им задолго до момента обострения  $t_f$  чувствительно реагировать на протекание катастрофически развивающихся процессов.

Рассмотрим процесс подготовки землетрясения, как процесс, развивающийся в режиме с обострением, полагая, что время подготовки землетрясения  $t$  по мере приближения землетрясения стремится к моменту обострения  $t_f$  ( $t \rightarrow t_f$ ) и в момент возникновения землетрясения совпадает с ним ( $T = t_f$ ).

Прогностический признак, регистрируемый в процессе наблюдения за сейсмообстановкой, рассматривается как информационный сигнал  $A_{ИНФ}$ , состоящий, в соответствии с (3), из суммы гладкой (трендовой)  $B_{ТР}$  и периодической  $A_{ПЕР}$  составляющих [3].

$$A_{ИНФ} = B_{ТР} + A_{ПЕР} \quad (5)$$

Периодическая составляющая  $A_{ПЕР}$  играет в методике ключевую роль. «Периодические процессы вообще, по-видимому, одна из основ для построения теорий в самых различных областях. Периодичность – регулярное повторение 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» [4].

В связи с этим в процессе прогнозирования, выполняемого согласно разрабатываемой методике, анализу подвергается именно периодическая составляющая  $A_{ПЕР}$ . С этой целью

она выделялась из исходного информационного сигнала  $A_{ИНФ}$ . Это осуществляется путем разложения последнего на эмпирические моды [5]

$$A_{ПЕР} = -0.25A_{ИНФ_{i-1}} + 0.5A_{ИНФ_i} - 0.25A_{ИНФ_{i+1}}. \quad (6)$$

Решение задачи прогнозирования осуществляется путем определения коэффициентов модели  $A_{МОД}$  периодической составляющей  $A_{ПЕР}$ . В качестве модели используется логопериодическая функция (4), представленная в удобном для дальнейших расчетов и привычном для гармонических функций виде (7).

$$A_{МОД} = A_0 \cos[\omega \cdot \ln(T - t_i) + \varphi]. \quad (7)$$

Выражение (7) содержит четыре неизвестных параметра: амплитуду периодической составляющей –  $A_0$ ; время землетрясения –  $T$ ; частоту –  $\omega$  и фазу колебаний –  $\varphi$ . Эти величины определяются в результате численного решения системы нелинейных уравнений (8). Система (8) составлена на основе знания аргументов периодической составляющей  $A_{ПЕР}$  (6)  $t_n$ , на которые приходятся ее совпадающие по знаку экстремумы.

$$\begin{cases} \ln(T - t_n) - \ln(T - t_{n+1}) = \frac{2\pi}{\omega}, \\ \ln(T - t_{n+1}) - \ln(T - t_{n+2}) = \frac{2\pi}{\omega}. \end{cases} \quad (8)$$

При решении системы (8) получают следующие выражения (9) для коэффициентов модели (7) [6]:

$$T = \frac{t_{n+1}^2 - t_{n+2}t_n}{2t_{n+1} - t_{n+2} - t_n}, \quad (9)$$

$$\omega = 2\pi / \ln(\rho),$$

$$\varphi = \pi - \omega \cdot \ln(T - t_{n+2}),$$

Здесь  $\rho = \frac{t_{n+1} - t_n}{t_{n+2} - t_{n+1}}$  – временной параметр ( $\rho > 1$ );  $t_n, t_{n+1}, t_{n+2}$  – время, на которое

приходятся последовательно расположенные и имеющие один знак экстремумы периодической составляющей.

Решение системы (8) осуществляется следующим образом:

– выделяется не менее трех, отстоящих друг от друга по фазе на угол  $2\pi$ , последовательных и одинаковых по знаку (максимум или минимум) локальных экстремумов периодической составляющей  $A_{ПЕР}$ ;

- фиксируется время  $t$ , на которое приходятся найденные экстремумы  $(t_n, t_{n+1}, t_{n+2})$ ;
- рассчитывается параметр  $\rho$ , характеризующий взаимосвязь между интервалами по времени, отделяющими друг от друга последовательно расположенные совпадающие по знаку экстремумы.

Параметра  $\rho$  должен превышать единицу, что свидетельствует о характерном для логопериодической функции уменьшением с течением времени периода ее колебаний. Уменьшение периода ведет к росту частоты колебаний логопериодической функции, что является особенностью поведения процессов, функционирующих в режиме с обострением.

Выявление данной закономерности при анализе периодической составляющей  $A_{ПЕР}$  свидетельствует о том, что прогностический признак описывает сейсмообстановку, как процесс, действительно относящийся к процессу, развивающемуся в режиме с обострением.

В сейсмологии переменная составляющая  $A_{ПЕР}$  (6), как правило, является не одно - а много частотным колебанием, поэтому для повышения качества прогнозирования (точности нахождения параметров (9)) в качестве ее модели  $A_{МОД}$  следует применять тригонометрический полином (ряд Фурье (10)), составленный из нескольких логопериодических функций.

$$A_{МОД} = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^m \left[ a_k \cos(k \cdot 2\pi / (t_0 - t_m) \cdot \text{Ln}(T - t_i)) + b_k \sin(k \cdot 2\pi / (t_0 - t_m) \cdot \text{Ln}(T - t_i)) \right] \quad (10)$$

Здесь  $m$  – число членов ряда Фурье. Коэффициенты ряда  $a_0, a_k, b_k$  определяются из следующих выражений

$$\begin{cases} a_0 = \frac{1}{t_0 - t_m} \int_{t_0}^{t_m} A_{ПЕР} \cdot \frac{1}{T - t} dt, \\ a_k = \frac{2}{t_0 - t_m} \int_{t_0}^{t_m} A_{ПЕР} \cdot \cos\left(k \cdot \frac{2\pi}{t_0 - t_m} \cdot \text{Ln}(T - t)\right) \cdot \frac{1}{T - t} dt, \\ b_k = \frac{2}{t_0 - t_m} \int_{t_0}^{t_m} A_{ПЕР} \cdot \sin\left(k \cdot \frac{2\pi}{t_0 - t_m} \cdot \text{Ln}(T - t)\right) \cdot \frac{1}{T - t} dt. \end{cases} \quad (11)$$

Параметр  $T$  модели периодической составляющей (10) определяется по результатам ее идентификации. Идентификация осуществляется путем аппроксимации моделью (10) периодической составляющей (6). Аппроксимация выполняется за счет минимизации разницы (12) между периодической составляющей  $A_{ПЕР}$  (6) и ее моделью  $A_{МОД}$  (10).

$$\sum_i^k (A_{ПЕРi} - A_{МОДи})^2 \Rightarrow \min . \quad (12)$$

Здесь  $k$  – число значений периодической составляющей (6).

### Практическая часть

Для демонстрации эффективности рассматриваемой в статье методики прогнозирования землетрясений в качестве предикторов двух землетрясений, состоявшихся в 2013 и 2018 годах, использованы модульные коэффициенты УПВ дебета скважин  $M_k(Q)$  [7].

Наблюдательные скважины глубиной 300–500 м размещаются на ст. Алма-Арасан и ст. Тау-Тургень, измерения на которых проводились непрерывно в течение 40 лет. Результаты последних 22 лет (1998–2019 гг.) из этих измерений приведены в [7].

Наблюдательные скважины используются для регистрации вертикальной составляющей объемных деформаций грунта. Эти деформации регистрируются естественным по происхождению и значительным по размеру, а поэтому и весьма чувствительным датчиком, которым является насыщенный водой грунт. Датчик реагирует на воздействие сейсмических волн, генерируемых в эпицентре будущего землетрясения в процессе его созревания, и тем самым позволяет самым непосредственным образом контролировать процесс подготовки землетрясения.

Для обеспечения статистической значимости исходных для прогнозирования данных приведенная в [7] статистика разбита на две части. Первая часть информации, полученная на протяжении с 1999 по 2013 годы, использовалась для ретропрогноза землетрясения, состоявшегося 29 апреля 2013 года, а вторая (с 2013 по 2018 гг.) – для ретропрогноза землетрясения, зарегистрированного 19 августа 2018 года. Для воспроизведения при ретропрогнозе условий, близких по времени к условиям, имевшим бы место при прогнозировании в реальности, анализируемая статистика данных ограничивалась измерениями, выполненными накануне фактического момента землетрясения, исключая, тем самым, момент самого землетрясения.

### Ретропрогноз землетрясения, состоявшегося 29.04.13 г. Станция наблюдения Алма-Арасан

Изменение за время наблюдения дебета скважин, размещенных на данном полигоне, показано на рисунке 1. Там же стрелками отмечено время землетрясений.

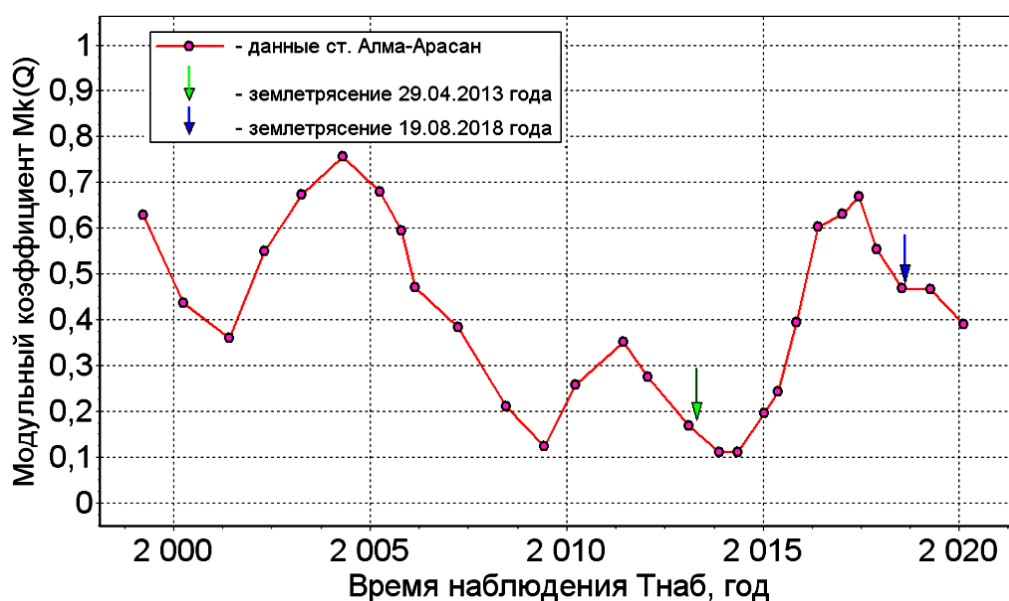


Рисунок 1 – Изменение за время наблюдения модульного коэффициента дебета скважины  $M_k(Q)$  (УПВ) и время землетрясений

На рисунке 2 приведена периодическая составляющая  $A_{ПЕР}$  (6) дебета скважины и ее огибающая, представляющая прогнозную модель  $A_{МОД}$  (10).

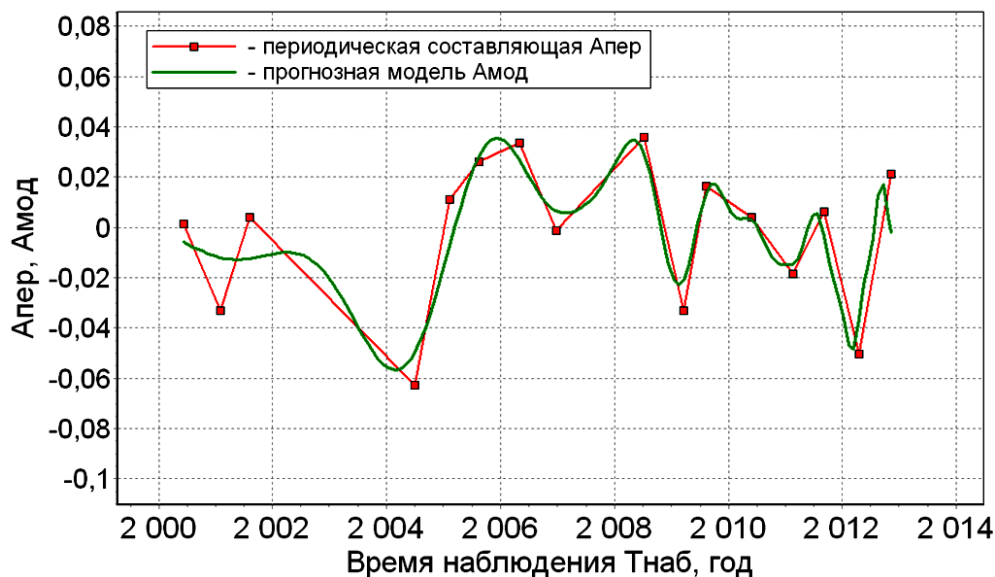


Рисунок 2 – Аппроксимация периодической составляющей  $A_{пер}$  модульного коэффициента  $M_k(Q)$  ее прогнозной моделью  $A_{мод}$

На рисунке 3 показано соотношение фактической даты землетрясения  $T_{Ф}$  и прогноза  $T_{ПР}$ , определенного по результатам минимизации разницы (12).

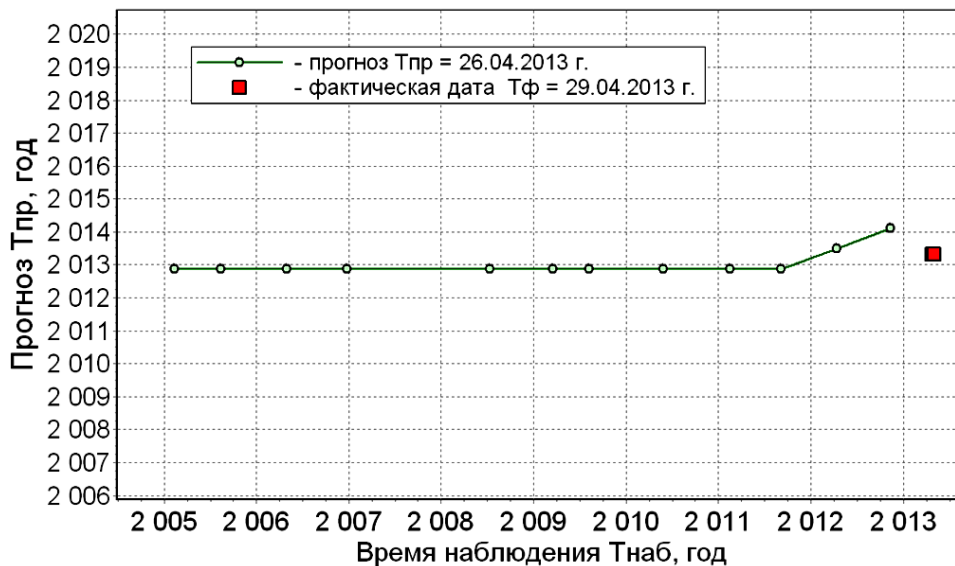


Рисунок 3 – Соотношение прогноза и фактической даты землетрясения, состоявшегося 29.04.2013 г.

Ниже размещен «Протокол прогнозирования..» и его табличный вариант. Документы являются результатом работы компьютерной программы и содержат среднесрочный и краткосрочный прогнозы.



**ПРОТОКОЛ № 1**  
**прогноза землетрясения**

=====  
|| Дата прогнозирования: ||  
|| 3.9.2011 г. ||  
=====

**ПРОГНОЗ:**

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

2.12.2012 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 23.11.2012 г. до 12.12.2012 г.

\*\*\*\*\*

=====  
|| Дата прогнозирования: ||  
|| 13.4.2012 г. ||  
=====

**ПРОГНОЗ:**

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

16.8.2013 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 8.8.2013 г. до 25.8.2013 г.

\*\*\*\*\*

=====  
|| Дата прогнозирования: ||  
|| 10.11.2012 г. ||  
=====

**ПРОГНОЗ:**

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

29.3.2014 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 22.3.2014 г. до 6.4.2014 г.

\*\*\*\*\*

Таблица 1 – Ретропрогноз (усредненная дата землетрясения 26.4.2013)

Дата прогнозирования	17.2.2011	3.9.2011	13.4.2012	10.11.2012
Прогноз даты землетрясения	8.11.2012	8.11.2012	21.6.2013	8.2.2014
Отклонение прогноза от усредненной даты	1.3 %	1.3 %	-0.4 %	-2.1 %

### Станция наблюдения Тау-Тургень

Изменение за время наблюдения дебета скважин, размещенных на данном полигоне, показано на рисунке 4. Там же стрелками отмечено время прогнозируемых землетрясений.

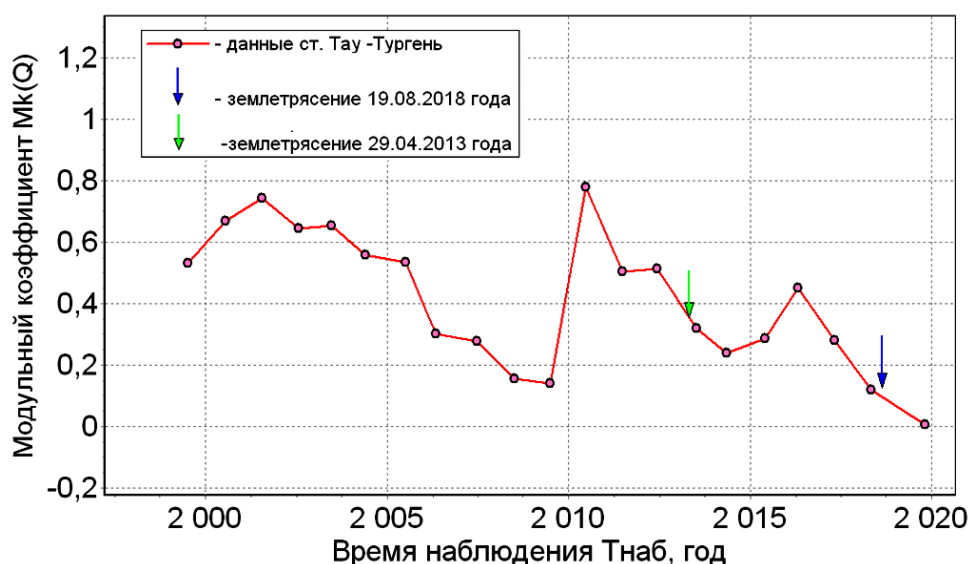


Рисунок 4 – Изменение за время наблюдения модульного коэффициента дебета скважины  $M_k(Q)$  (УПВ) и время землетрясений

На рисунке 5 приведена периодическая составляющая  $A_{ПЕР}$  (6) дебета скважины и ее огибающая, представляющая прогнозную модель  $A_{МОД}$  (10).

На рисунке 6 показано соотношение фактической даты землетрясения  $T_{\Phi}$  и прогноза  $T_{ПР}$ , определенного по результатам минимизации разницы (12).

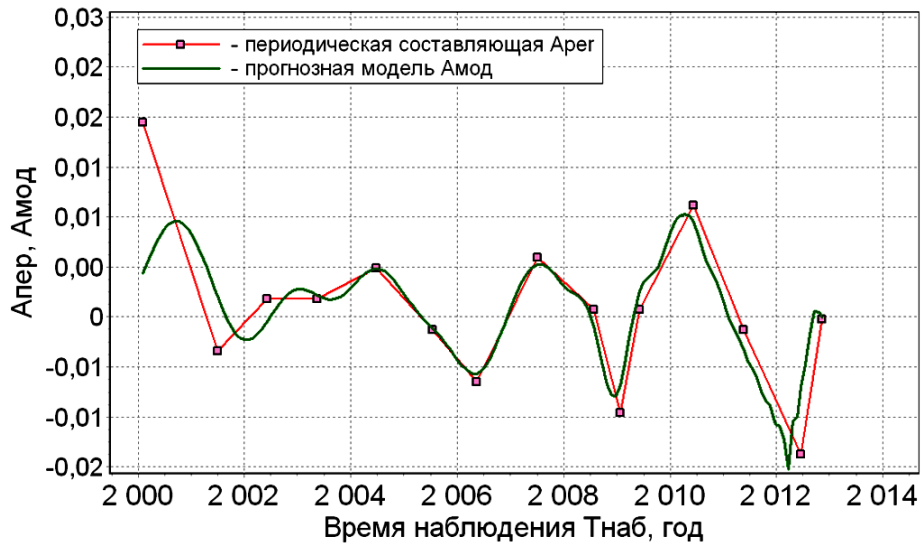


Рисунок 5 – Аппроксимация периодической составляющей  $A_{пер}$  модульного коэффициента  $M_k(Q)$  ее прогнозной моделью  $A_{мод}$

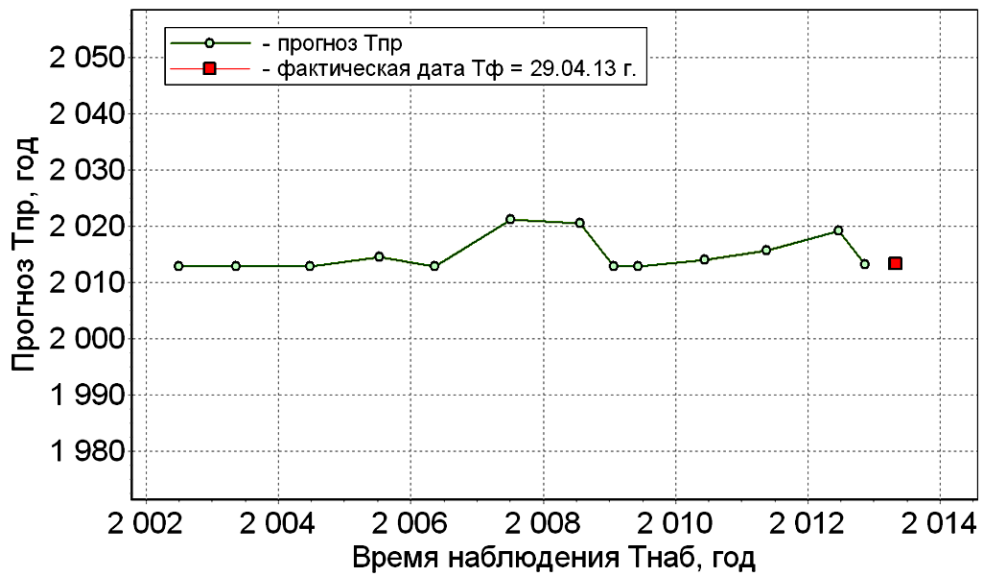


Рисунок 6 – Соотношение прогноза и фактической даты землетрясения, состоявшегося 29.04.2013 г.

Ниже размещен «Протокол прогнозирования..» и его табличный вариант. Документы являются результатом работы компьютерной программы и содержат среднесрочный и краткосрочный прогнозы.

**ПРОТОКОЛ № 2**  
**прогноза землетрясения**

```
=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                               ||
||      16.5.2011 г.      ||
||                               ||
=====
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

25.7.2013 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 25.7.2013 г. до 25.7.2013 г.

\*\*\*\*\*

```
=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                               ||
||      15.6.2012 г.      ||
||                               ||
=====
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

1.3.2013 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 1.3.2013 г. до 1.3.2013 г.

\*\*\*\*\*

```
=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                               ||
||      8.11.2012 г.      ||
||                               ||
=====
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

11.2.2013 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 11.2.2013 г. до 11.2.2013 г.

Таблица 2 – Ретропрогноз (усредненная дата землетрясения 15.04.2013)

Дата прогнозирования	8.6.2010	16.5.2011	15.6.2012	8.11.2012
Прогноз даты землетрясения	22.12.2012	25.7.2013	1.3.2013	11.2.2013
Отклонение прогноза от усредненной даты	- 33 %	25.3 %	-10.7%	-16.8 %

**Ретропрогноз землетрясения, состоявшегося 19.08.2018 г. Станция наблюдения Алма–Арасан**

На рисунке 7 приведена периодическая составляющая  $A_{ПЕР}$  (6) дебета скважины и ее огибающая, представляющая прогнозную модель  $A_{МОД}$  (10).

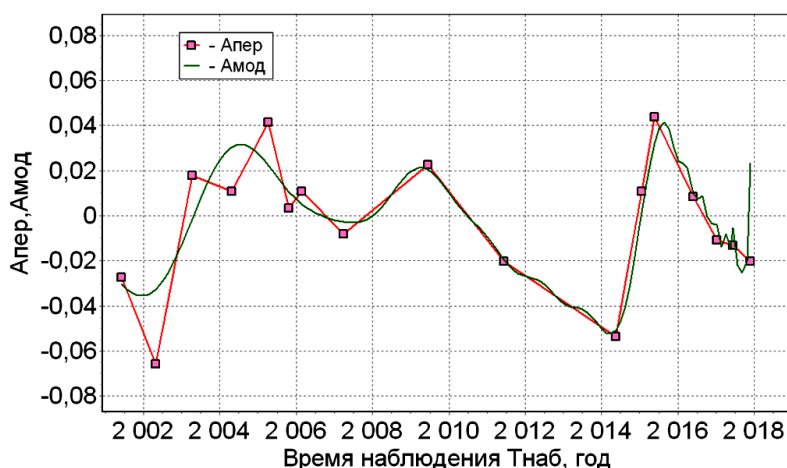


Рисунок 7 – Аппроксимация периодической составляющей  $A_{пер}$  модульного коэффициента  $M_k(Q)$  ее прогнозной моделью  $A_{мод}$

На рисунке 8 показано соотношение фактической даты землетрясения  $T_{ф}$  и прогноза  $T_{ПР}$ , составленного по результатам минимизации разницы (12).

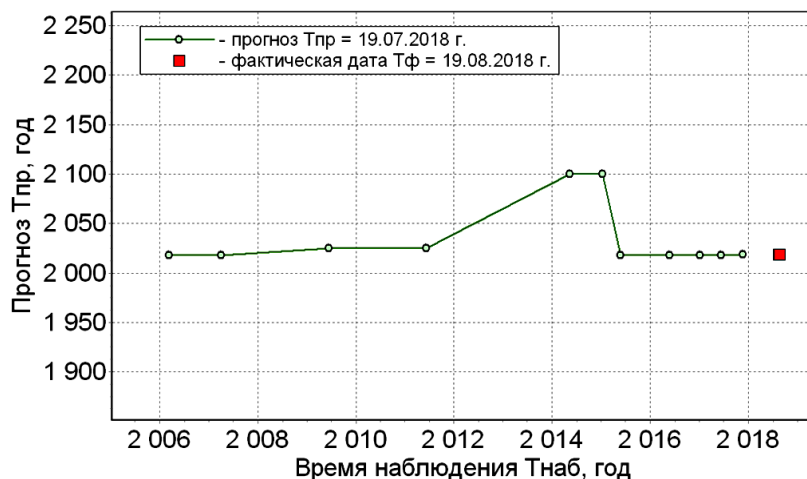


Рисунок 8 – Соотношение прогноза и фактической даты землетрясения, состоявшегося 19.08.2018 г.

Ниже размещен «Протокол прогнозирования..» и его табличный вариант. Документы являются результатом работы компьютерной программы и содержат среднесрочный и краткосрочный прогнозы.

**ПРОТОКОЛ №3  
прогноза землетрясения**

```
=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                          ||
||      17.2.2017 г.      ||
||                          ||
=====
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

29.12.2019 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 29.12.2019 г. до 29.12.2019 г.

\*\*\*\*\*

```
=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                          ||
||      19.5.2017 г.      ||
||                          ||
=====
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

9.3.2018 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 9.3.2018 г. до 9.3.2018 г.

Таблица 3 – Ретропрогноз (усредненная дата землетрясения 22.8.2018)

Дата прогнозирования	6.1.2016	10.6.2016	17.2.2017	19.5.2017
Прогноз даты землетрясения	9.3.2018	9.3.2018	29.12.2019	9.3.2018
Отклонение прогноза от усредненной даты	1.4 %	1.4 %	-4.3 %	1.4 %

### Станция наблюдения Тау-Тургень

На рисунке 9 приведена периодическая составляющая  $A_{ПЕР}$  (6) дебета скважины и ее огибающая, представляющая прогнозную модель  $A_{МОД}$  (10).

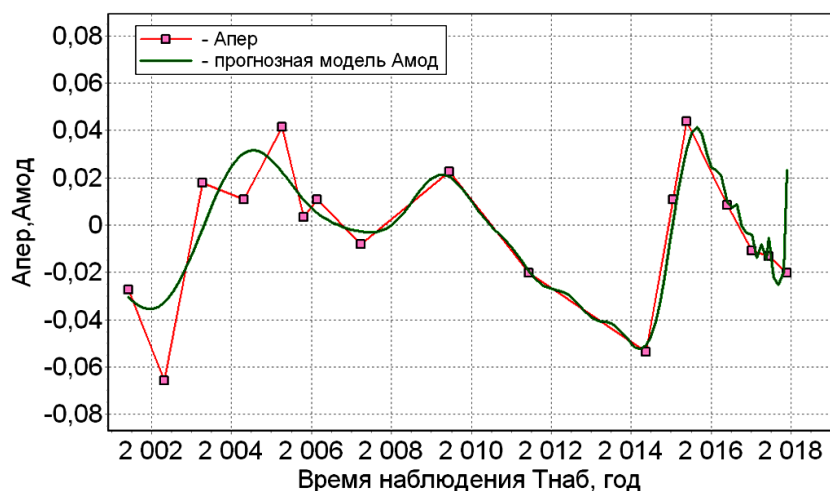


Рисунок 9 – Аппроксимация периодической составляющей  $A_{пер}$  модульного коэффициента  $M_k(Q)$  ее прогнозной моделью  $A_{мод}$

На рисунке 10 показано соотношение фактической даты землетрясения  $T_{ф}$  и прогноза  $T_{пр}$ , определенного по результатам минимизации разницы (12).

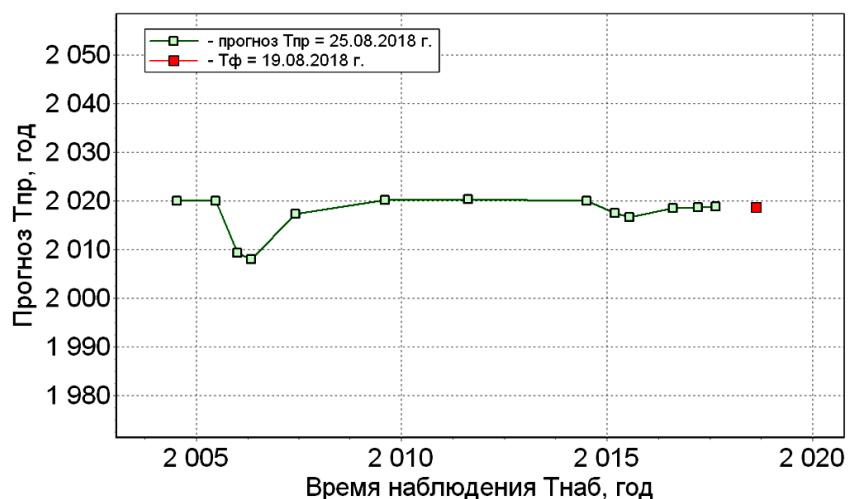


Рисунок 10 – Соотношение прогноза и фактической даты землетрясения, состоявшегося 19.08.2018 г.

Ниже размещен «Протокол прогнозирования..» и его табличный вариант. Документы являются результатом работы компьютерной программы и содержат среднесрочный и краткосрочный прогнозы.

**ПРОТОКОЛ №4**  
**прогноза землетрясения**

```

=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                          ||
||      18.3.2017 г.      ||
||                          ||
=====
    
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

25.8.2018 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 25.8.2018 г. до 25.8.2018 г.

\*\*\*\*\*

```

=====
|| Дата прогнозирования: ||
||                          ||
||      25.8.2017 г.      ||
||                          ||
=====
    
```

ПРОГНОЗ:

Прогноз наиболее вероятной даты землетрясения составляет:

12.10.2018 г.

и изменяется с доверительной вероятностью  $P=0.95$  в следующих границах:

от 12.10.2018 г. до 12.10.2018 г.

\*\*\*\*\*

Таблица 4 – Ретропрогноз (усредненная дата землетрясения 25.08.2018)

Дата прогнозирования	20.7.2015	7.8.2016	18.3.2017	25.8.2017
Прогноз даты землетрясения	4.9.2018	27.6.2018	25.8.2018	12.10.2018
Отклонение прогноза от усредненной даты	12.6 %	-25.1 %	0.0 %	25.0 %

В таблице 5 приведены сводные данные по отклонению прогноза от фактической даты землетрясений.



Таблица 5 – Фактическая и прогнозная даты землетрясения и их отличие

Фактическая дата землетрясения	Прогноз даты землетрясения		Отклонение прогноза от фактической даты землетрясения dt, сутки	
	Ст. Алма-Арасан	Ст. Тау-Тургень	Ст. Алма-Арасан	Ст. Тау-Тургень
29.04.2013 г.	26.04.2013 г.	15.04.2013 г.	3	4
19.08.2018 г.	22.08.2018 г.	25.08.2018 г.	–3	–6

### Заключение

Применение рассмотренной в статье методики прогнозирования подтвердило заложенное в ее основу предположение о том, что процесс подготовки землетрясения следует отнести к процессу, развивающемуся в режиме с обострением.

Из исходных данных, описывающих траекторию прогностического признака (дебета наблюдательных скважин, расположенных на ст. Алма-Арасан и ст. Тау-Тургень, рисунки 1, 4), удалось выделить периодическую составляющую (рисунки 2, 5, 7 и 9), что отвечает особенностям протекания процессов, развивающихся в режиме с обострением.

Идентификация параметров модели периодической составляющей, в качестве которой использовалась логопериодическая функция, позволила осуществить прогноз времени двух землетрясения (рисунки 3, 6, 8 и 10);

Прогнозы отклонялись от фактических дат землетрясений в пределах 3–6 суток (таблица 5, Протоколы №1–4, таблицы 1–4). Причем, в обоих случаях прогнозы достаточно стабильны на протяжении всего периода наблюдения за развивающимся землетрясением.

Данное обстоятельство обеспечивает резерв времени для принятия решения об объявлении периода повышенного внимания в сейсмоопасном регионе с одновременным подкреплением прогноза путем анализа характера поведения других предикторов.

### Литература:

1. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Состояние научных исследований по проблеме прогнозирования землетрясений и дальнейшие пути их развития // Проблемы сейсмологии. – 2021.– №2, т.3.– С. 17–27.
2. Муминов М.Ю., Кучкаров К.И., Каримов Ж. О дальности распространения геомагнитных предвестников землетрясений // Проблемы сейсмологии. – 2021.– №2, т.3. – С. 34–51.
3. Подлазов А.В. Режимы с обострением с комплексными показателями. Логопериодические колебания в модели разрыва пучка волокон // Известия вузов «ПНД». – 2011. – № 2.– С. 15–30.
4. Шноль С.Э. Б.П. Белоусов и его колебательная реакция // Герои и злодеи российской науки. – М.: Крон-Пресс, 1997. – С. 144–166
5. Мясникова Н.В., Долгих Л.А., Мясникова М.Г. Применение разложения по эмпирическим модам в задачах цифровой обработки сигналов // Датчики и системы. – 2011. – № 5. – С. 8–10.
6. Уренцов О. В. Проверка возможности предсказания кризисов на финансовом рынке с помощью метода Д. Сорнетте // Труды ИСА РАН. – 2008. – Т. 40. – С. 174–191.
7. Абдуллаев А.У., Турабаева Ж.Т. Среднесрочное прогнозирование сильных землетрясений основе анализа многолетнего хода гидрогеодинамических параметров подземных вод в

сейсмоактивных районах // Сб. докл. межд. науч. конф. «Инновационные технологии в решении актуальных проблем сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии», посв. 110-летию академика Г.А. Мавлянова. (20-21 октября 2020 г.). – 2020. – С.86–90.

#### References:

1. Abdullabekov K.N., Maksudov S.Kh., Tychiev A.I. The state of scientific research on the problem of earthquake prediction and further ways of their development // Problems of seismology. – 2021. – No. 2, Vol. 3. – P.17–27.
2. Muminov M.Yu., Kuchkarov K.I., Karimov Zh. et al. On the range of propagation of geomagnetic precursors of earthquakes // Problems of seismology. – 2021. – No. 2, Vol. 3. – P. 34–51.
3. Podlazov A.V. Regimes with aggravation with complex indicators. Log-periodic fluctuations in the fiber bundle break model // Izvestiya vuzov PND. – 2011. – No. 2. – S. 15–30.
4. Shnol S.E. Chapter 11 Belousov and his oscillatory reaction // Heroes and villains of Russian science. – М.: Kron-Press, 1997. – P.144–166.
5. Myasnikova N.V., Dolgikh L.A., Myasnikova M.G. Application of expansion in empirical modes in digital signal processing problems // Sensors and systems. – 2011. – No. 5. – S. 8–10.
6. Urentsov O. V. Checking the possibility of predicting crises in the financial market using the method D . Sornette // Proceedings of the ISA RAS. – 2008. – Т. 40. – P.174–191.
7. Abdullaev A.U., Turabaeva Zh.T. Medium-term forecasting of strong earthquakes based on the analysis of the long-term course of hydrogeodynamic parameters of groundwater in seismically active areas // Collection of reports of the international scientific conference «Innovative technologies in solving urgent problems of seismology, hydrogeology and engineering geology» Dedicated to the 110th anniversary of Academician G.A. Mavlyanova. (October 20-21, 2020). – 2020. – P.86–90.

*Поступила 10 марта 2023 г.*

**ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

МРНТИ 31.25

УДК 541(49+64):532.74

**ИНТЕРПОЛИМЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НЕИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ  
И ПОЛИАКРИЛОВОЙ КИСЛОТОЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ**

Мун Г.А.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы

e-mail: mungrig@yandex.ru

*В обзоре систематизированы и обобщены результаты фундаментальных исследований в области межмакромолекулярных реакций и интерполимерных комплексов, проводимых автором с сотр. Выявлен ряд фундаментальных закономерностей по влиянию факторов различной природы (рН, ионная сила, температура, гидрофильно-гидрофобный баланс макроцепи и т.п.) на процесс комплексообразования неионных полимеров с поликарбоновыми кислотами в водных растворах. В качестве количественного критерия комплексообразующей способности полимеров использована критическая величина рН комплексообразования ( $pH_{крит}$ ). Показано, что все системы можно в зависимости от значения  $pH_{крит}$  подразделить на два класса – сильнокомплексующие и слабо взаимодействующие. Методом люминесцентной спектроскопии установлено существование двух типов  $pH_{крит}$ , определяющих комплексообразующую способность и конформационное состояние комплементарных макромолекул в процессе взаимодействия.*

**Ключевые слова:** водный раствор, неионные полимеры, полиакриловая кислота, интерполимерные комплексы, гидрофобные взаимодействия, критические значения рН комплексообразования, гидрофильные ассоциаты, турбидиметрия.

*Шолуда авторлардың әріптестерімен соңғы жылда макромолекулааралық реакциялар мен интерполимерлі комплекстер саласында жүргізген іргестасты зерттеулері жүйеленген және толықтырылған. Ионсыз полимерлердің полиакрил қышқылымен сулы ортада комплекстүзу процесіне табиғаты әр түрлі факторлардың (рН, иондық күш, температура, макротізбектің гидрофильді-гидрофобты балансы және т.б.) әсері зерттелген. Полимерлердің комплекстүзу қабілеттілігін сандық бағалау критерийі ретінде комплекстүзудің дағдарыстық рН шамасы ( $pH_{дағд.}$ ) қолданылған. Барлық жүйелерді  $pH_{дағд.}$  мәні бойынша екі класқа – күшті комплекстүзетіндер және әлсіз әрекеттесетіндерге ажыратылатындығы тағайындалған. Люминесценттік спектроскопия әдісі арқылы әрекеттесу барысында комплементарлы макромолекулалардың комплекстүзу қабілеттілігін және конформациялық күйлерін анықтайтын  $pH_{дағд.}$  екі түрі болатындығы тағайындалған.*

**Түйінді сөздер:** сулы ерітінді, иондық емес полимерлер, полиакрил қышқылы, интерполимерлік кешендер, гидрофобты әрекеттесулер, кешен түзілудің критикалық рН мәндері, гидрофильді ассоциацияттар, турбидиметрия.

*Results of fundamental investigations in the intermacromolecular reactions and interpolymer complexes to be performed by author with co-workers within several years have been intergrated and summarized in the present review. The raw of fundamental regularities in the effect of factors of different nature (pH, ionic strength, temperature, hydrophilic-hydrophobic balance of macrochain, etc.) on the complexation of*

*nonionic polymers with polycarboxylic acids in aqueous solutions has been revealed. Critical pH upon complexation ( $pH_{crit.}$ ) has been used for evaluation of the complexing ability of the polymers. It was shown that depending on  $pH_{crit.}$  all systems can be divided into 2 groups, namely, weak complexing and strongly complexing. The existence of two critical pH upon complexation reflecting the complexing ability and conformational state of complementary macromolecules in the reaction has been demonstrated by the method of luminescence spectroscopy.*

**Keywords:** *aqueous solution, nonionic polymers, polyacrylic acid, interpolymer complexes, hydrophobic interactions, critical pH values of complexation, hydrophilic associates, turbidimetry.*

## **Введение**

Интерполимерные реакции поликарбоновых кислот с неионогенными полимерами в растворах на протяжении многих лет неизменно привлекают пристальное внимание исследователей [1–4]. В значительной степени это обусловлено тем, что продукты таких взаимодействий – интерполимерные комплексы (ИПК) – по-существу представляют собой новый класс высокомолекулярных соединений, обладающих ценными в научном и практическом отношении свойствами, заметно отличающимися от свойств исходных полимерных компонентов. Наряду с этим кооперативные реакции комплементарных макромолекул в растворах открывают широкие перспективы для модификации полимеров и получения на их основе нового типа полимерных материалов, кроме того, такие процессы широко реализуются в природе и играют огромную роль в живых организмах.

Механизм формирования ИПК является достаточно сложным и зависит от множества внешних и внутренних факторов, определяющих стабильность и структуру поликомплексов. Однако, несмотря на интенсивные исследования в этом направлении, до постановки настоящей работы оставался неясным или дискуссионным целый ряд важных аспектов, касающихся закономерностей влияния таких факторов как pH среды, температура, ионная сила, гидрофильно-гидрофобный баланс макроцепей на процесс комплексообразования неионных полимеров с поликарбоновыми кислотами. В данной статье систематизированы и обобщены результаты фундаментальных исследований в области межмакромолекулярных реакций и ИПК, проводимых автором с сотр. на химическом факультете КазНУ им. аль-Фараби в течение ряда лет.

## **Критические явления в интерполимерных реакциях**

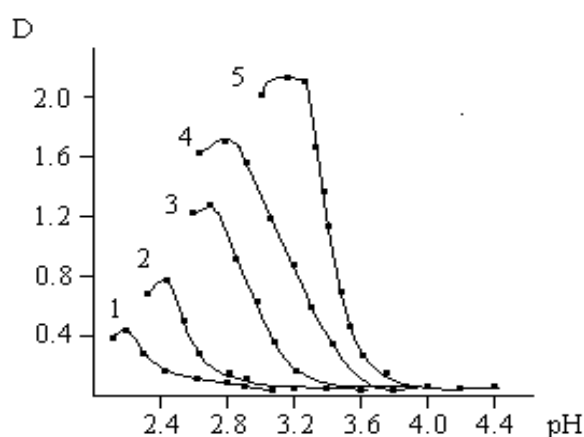
Процессы образования ИПК характеризуются рядом критических явлений, проявляющихся в существенной зависимости свойств системы от незначительного изменения различных параметров внешней среды. Так, еще в первых обзорных работах [2, 3] было показано существование нижнего и верхнего пределов молекулярной массы полимера, ниже и выше которых, процесс комплексообразования либо не происходит, либо формирующиеся комплексы характеризуются низкой стабильностью. Кроме того, образование полимер-полимерных комплексов требует наличия минимального критического содержания функциональных групп в полимере [5], чтобы обеспечить необходимый уровень плотности водородных связей между комплементарными макромолекулами. При этом, по мнению ряда авторов [4], образование ИПК в водных растворах возможно лишь ниже определенной критической величины pH ( $pH_{крит.}$ ), поскольку в структуре поликарбоновых кислот способность к образованию водородных связей проявляют лишь неионизованные карбоксильные группы. Впервые существование критической величины pH комплексообразования в системе неионный полимер-поликислота было продемонстрировано Tsuchida с сотр. в работе [6], в которой величина  $pH_{крит.}$  была определена гравиметрическим методом. Позже оценка значений  $pH_{крит.}$  была осуществлена Барановским и др. [7] методом вискозиметрии. При этом было показано, что выше величины  $pH_{крит.}$  наблюдается резкое увеличение вязкости полимерного раствора, что связано с разрушением компактной

структуры ИПК. Однако, гравиметрический и вискозиметрический методы определения  $pH_{крит.}$  являются достаточно трудоемкими, при этом не всегда достигается достаточно высокая точность.

В своих исследованиях для оценки  $pH_{крит.}$  мы использовали метод турбидиметрии, поскольку кривые зависимости мутности (оптической плотности) водных растворов смесей поликарбоновая кислота – неионогенный полимер от  $pH$  при достижении определенной кислотности, соответствующей величине  $pH_{кр.}$ , характеризуются резким повышением мутности системы. Это обусловлено фазовым расслоением вследствие формирования компактной структуры ИПК, характеризующегося более высокой гидрофобностью по сравнению с исходными полимерными компонентами. Это определяет возможность реализации простой методики оценки величины  $pH_{крит.}$ , обеспечивающей достаточно высокую степень точности [8].

Критические значения  $pH$  комплексообразования зависят от природы взаимодействующих макромолекул, концентрации, ионной силы и других внешних и внутренних факторов системы. В связи с этим нами, предложено использовать значения критических  $pH$  комплексообразования в качестве количественного критерия способности системы неионогенный полимер – поликарбоновая кислота к образованию интерполимерного комплекса (ИПК) [8]. Увеличение  $pH_{крит.}$  свидетельствует об усилении способности макромолекул к образованию ИПК, и наоборот, сдвиг данной величины в область более низких  $pH$  указывает на снижение комплексообразующей способности системы. Это позволяет установить ряд основных закономерностей по влиянию различных факторов на устойчивость поликомплексов, образованных водородными связями в водном растворе.

На рисунке 1 представлены данные по исследованию влияния концентрации взаимодействующих полимерных компонентов на их комплексообразование в водном растворе, полученные методом турбидиметрии для эквимольных смесей сополимера (СПЛ) винилового эфира этиленгликоля (ВЭЭГ) с винилбутиловым эфиром (ВБЭ) и полиакриловой кислоты (ПАК).

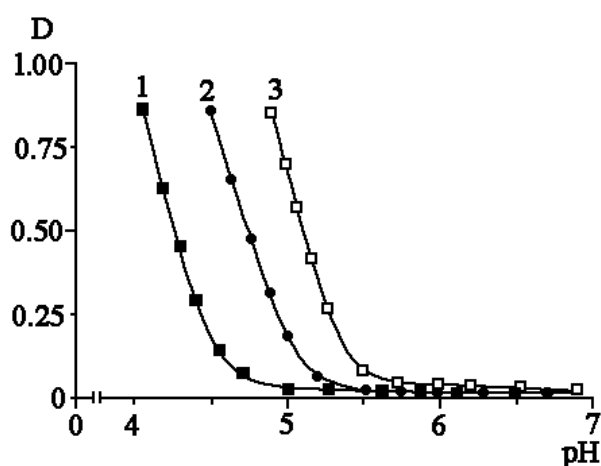


[СПЛ ВЭЭГ-ВБЭ]=[ПАК]=0.002 (1); 0.005 (2); 0.01 (3); 0.03 (4); 0.05 (5), мол/л

Рисунок 1 – Зависимость мутности эквимольных смесей водных растворов СПЛ ВЭЭГ:ВБЭ=85,3:14,7 и ПАК от  $pH$  среды

Видно, что при достижении определенного значения кислотности среды, соответствующего  $pH_{крит}$  наблюдается резкое повышение мутности системы, что вполне однозначно свидетельствует о кооперативном процессе формирования ИПК, сопровождающимся, как уже отмечалось, фазовым разделением. При этом повышение концентрации полимеров в растворе приводит к сдвигу величин  $pH_{крит}$  в область более высоких значений [9, 10], т.е. способствует более эффективному комплексообразованию в данной системе. Наблюдаемые эффекты, очевидно, обусловлены тем, что увеличение концентрации несколько подавляет ионизацию поликислоты и смещают равновесие в сторону образования ИПК, стабилизированных водородными связями.

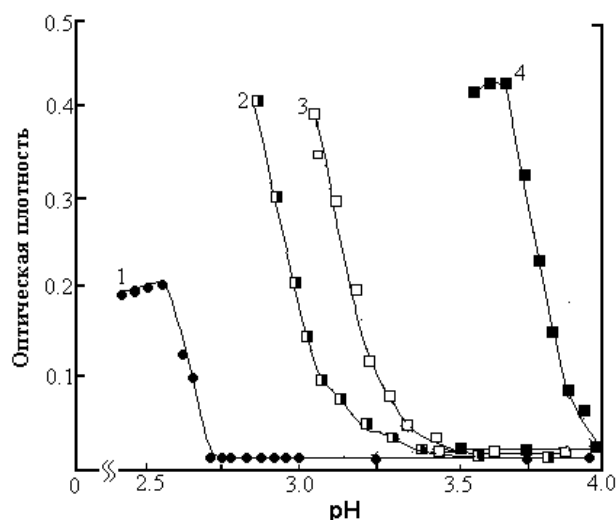
Как видно из данных рисунка 2, полученных для системы поливинилметилэфир (ПВМЭ)-ПАК [11], с ростом молекулярной массы поликислоты критические величины  $pH$  комплексообразования также сдвигаются в область более высоких значений. Это, видимо, обусловлено усилением вклада кооперативного эффекта, а также тем, что с увеличением длины макроцепей снижается степень ионизации поликислоты и возрастает количество неионизированных карбоксильных групп, способных к образованию водородных связей с неионными полимерами.



MM (ПАК) = 250000 (1), 450000 (2), 750000 (3);  
MM (ПВМЭ) = 60000;  $C_{ПОЛИМЕРОВ} = 0.01$  М

Рисунок 2 – Зависимость оптической плотности эквимольных смесей водных растворов ПАК и ПВМЭ от pH среды

На рисунке 3 приведены кривые зависимости мутности водных растворов эквимольных смесей ПАК и гомополимера винилового эфира этиленгликоля (ПВЭЭГ), а также ПАК и СПЛ ВЭЭГ-ВБЭ [12] от pH раствора. Видно, что благодаря присутствию гидрофобных звеньев ВБЭ в макроцепях неионного компонента критические  $pH$  комплексообразования находятся в области более высоких значений, чем для смесей на основе ПВЭЭГ. При этом  $pH_{крит}$  для системы существенно возрастают при повышении содержания ВБЭ в составе неионного СПЛ, достигая величины 3,8–4,0.



- 1 – ПВЭЭГ / ПАК  
 2 – СПЛ (ВЭЭГ:ВБЭ=92,1:7,9) / ПАК  
 3 – СПЛ (ВЭЭГ:ВБЭ=85,3:14,7) / ПАК  
 4 – СПЛ (ВЭЭГ:ВБЭ=78,2:21,8) / ПАК  
 Концентрация полимеров = 0,01 моль/л

Рисунок 3 – Зависимость оптической плотности эквимольных смесей водных растворов ПВЭЭГ с ПАК (1) и СПЛ ВЭЭГ-ВБЭ с ПАК (2–4) от рН среды

Аналогичные данные получены для смесей ряда других неионных сополимеров и поликарбоновых кислот, для которых однозначно установлено, что повышение содержания гидрофобного компонента в составе СПЛ сопровождается сдвигом  $pH_{крит}$  в область более высоких значений [13, 14]. Следовательно, введение мономерных звеньев, не образующих водородные связи, в состав взаимодействующих полимеров не всегда снижает устойчивость ИПК в водных растворах за счет нарушения комплементарности, как это предполагалось авторами работы [1, 3]. Напротив, наличие в макроцепях фрагментов, склонных к гидрофобным взаимодействиям, способствует возрастанию комплексообразующей способности полимеров и устойчивости ИПК. Особенно ярко это проявляется для неионных полимеров, обладающих нижней критической температурой растворения в воде (НКТР).

### **Исследование межмакромолекулярных реакций неионных полимеров с полиакриловой кислотой методом люминесцентной спектроскопии**

Люминесцентная спектроскопия на сегодняшний день достаточно успешно используется исследователями для выявления особенностей конформационных изменений макромолекул при осуществлении переходов "клубок-глобула", "глобула-стержень" и т.д. [15, 16], механизмов мицелло-образования [17, 18], процессов солубилизации [19], взаимодействия полимеров с поверхностно-активными веществами [20] и т.д. Метод основан на использовании специально вводимых в систему люминесцентных гидрофобных меток – пирена, перилена, антрацена, нафталина и т.д. с сопряженной системой ароматических колец с высокой чувствительностью к изменению гидрофильно-гидрофобного баланса в окружающей их системе [21].

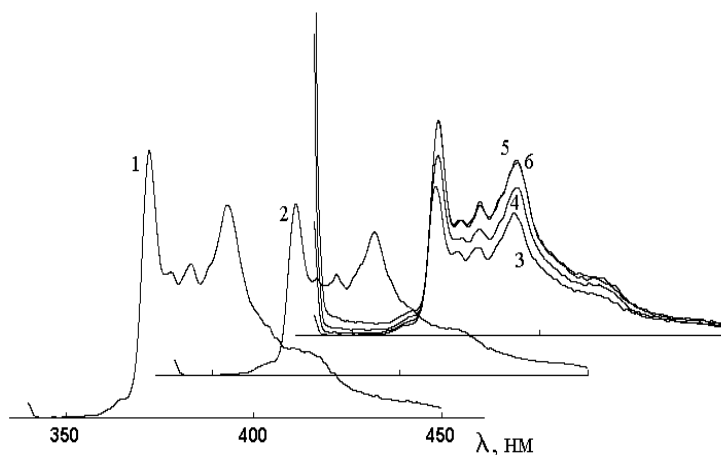
Известно, что вследствие гидрофобной природы люминесцентные метки характеризуются низкой растворимостью в воде и могут усиливать гидрофобные взаимодействия между макромолекулами. Так, Sivadasan с соавторами [22] в реакциях комплексообразования с ПАК использовали полиакриламид (ПААМ), меченный пиреном, и показали, что значения  $pH_{крит.}$  для данной системы находятся в области 4.0–5.0. В тоже время экспериментах по определению  $pH_{крит.}$  для системы ПААМ-ПАК в отсутствие пирена турбидиметрическим методом найдено, что комплексообразующая способность немодифицированного ПААМ достаточно низкая ( $pH_{крит.}$  2.5–3.5) [23]. Следовательно, люминесцентные группы, ковалентно связанные с полимером, оказывают заметное влияние на его комплексообразующие свойства. Очевидно, это обстоятельство необходимо учитываться при изучении интерполимерных реакций с помощью люминесцентной спектроскопии.

За последние два десятилетия метод люминесцентной спектроскопии активно использовался при исследовании особенностей образования ИПК между полиэтиленоксидом (ПЭО) и поликарбоновыми кислотами [24, 25]. Однако в большинстве случаев метки (пирен, бромонафталин, аценафталин и др.) присоединялись к макромолекулам посредством химических связей, что, несомненно, могло влиять на свойства полимеров, в частности, гидрофильно-гидрофобный баланс их макроцепи. Авторами настоящей работы с использованием люминесцентной спектроскопии в присутствии люминофора исследовано влияния pH на образование и структуру поликомплексов ПЭО с ПАК и другими неионными полимерами в водных растворах [26]. В качестве люминесцентной метки был использован пирен. Из-за наличия в своей структуре сопряженной системы бензольных колец пирен сильно поглощает в УФ-диапазоне и начинает флуоресцировать в области 350-500 нм. О протекании процессов, связанных с изменением полярности среды, принято судить по величине отношения интенсивностей третьего вибрационного пика к первому ( $I_3$  при 373.0 нм,  $I_3$  при 383.5 нм), полученных из люминесцентных спектров водных растворов веществ в присутствии пирена.  $I_3/I_1$  (далее относительная интенсивность) для пирена, солюбилизованного дистиллированной водой, составляет 0.60-0.64 [27]. Увеличение относительной интенсивности, как правило, свидетельствует об усилении гидрофобных взаимодействий в жидкой фазе, что позволяет использовать данное свойство при изучении реакций полимеров, сопровождающихся блокировкой гидрофильных групп и образованием гидрофобных доменов, солюбилизирующих пирен в большей степени.

В данной работе использованы водные растворы пирена с концентрацией 2  $\mu$ M, что позволило минимизировать эффект влияния молекул органического соединения на комплексообразующую способность полимеров. Кроме того, при такой концентрации в спектре пирена отсутствует пик, ответственный за релаксацию его димерной формы при 474 нм.

На рисунке 4 приведены спектры пирена в системе ПЭО-ПАК эквимолярного соотношения, из которых видно, что в зависимости от pH меняется не только интенсивность соответствующих пиков, но их спектральное распределение. Так, при определенной pH, вероятно, близкой к  $pH_{крит.}$ , происходит сдвиг спектральных полос пирена в область больших длин волн, что, вероятно, связано с резким изменением полярности среды в связи с перестройкой структуры макромолекул ПЭО и ПАК в присутствии пирена и образованием в системе полимер-комплексных структур [28, 29].

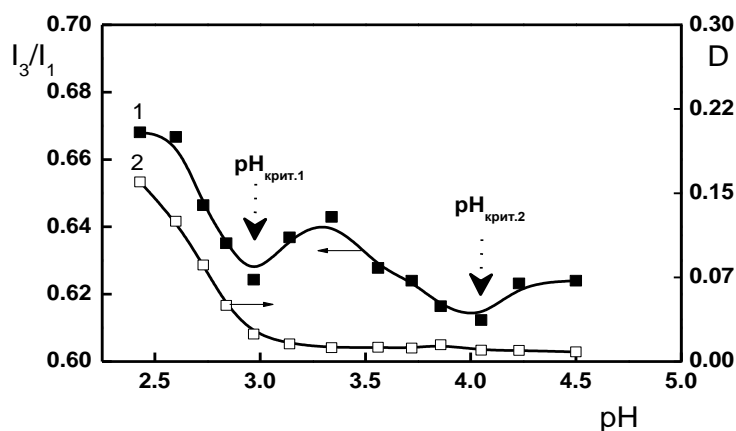




pH 4.15 (1), 3.93 (2), 3.65 (3), 3.32 (4), 2.97 (5), 2.68 (6);  $[ПЭО]_0=[ПАК]_0=0.01$  М;  
 $[ПЭО]:[ПАК]=1:1$  мол.;  $MM(ПЭО)=3 \times 10^5$ ,  $MM(ПАК)=2.3 \times 10^5$

Рисунок 4 – Спектры люминесценции водного раствора пирена в присутствии ПЭО и ПАК при изменении pH раствора

Рисунок 5 демонстрирует зависимость оптической плотности и относительной интенсивности ( $I_3/I_1$ ) эквимольного раствора ПЭО с ПАК от pH. Как видно из данных турбидиметрии, при относительно высоких значениях pH раствор остается прозрачным, а при достижении  $pH_{крит.}$ , раствор мутнеет, причем мутность резко увеличивается в узком интервале изменений pH. В тоже время на кривой зависимости  $I_3/I_1$ -pH, полученной из данных люминесцентной спектроскопии, вполне отчетливо проявляются 2 минимума. Видно, что первый минимум соответствует  $pH_{крит.}$ , найденной из данных турбидиметрии (значения меньше на 0.1-0.2 pH по сравнению с данными люминесценции). Ниже  $pH_{крит.}$  образуются гидрофобные частицы ИПК, сольбилизирующие пирен, при этом, как и следовало ожидать, значения  $I_3/I_1$  увеличиваются.



$[ПЭО]_0 = [ПАК]_0 = 0.01$  М,  $MM(ПЭО)=3 \times 10^5$ ,  $MM(ПАК)=2.3 \times 10^5$

Рисунок 5 – Влияние pH на относительную интенсивность  $I_3/I_1$  (1) и оптическую плотность (2) эквимольного раствора ПЭО-ПАК

Сложный переход обнаруживается выше  $pH_{крит.}$  значения ( $pH$  2,8), найденного из данных турбидиметрии, а именно, при постепенном повышении  $pH$  относительная интенсивность сначала падает до минимального значения в области  $pH=2,9$ , затем повышается и снова понижается. Можно полагать, что в области  $pH$  между двумя минимумами имеет место еще одна перестройка структуры, вероятно, связанная с образованием промежуточных агрегатов ПЭО с ПАК. Из полученных данных видно, что в области второго минимума ( $pH$  около 4.0) имеет место формирование ассоциатов с ярко выраженной гидрофильностью по природе еще более гидрофильных, нежели отдельно взятые полимеры.

Повышение относительной интенсивности ниже  $pH$  4.0, вероятно, связано с частичной компактизацией ассоциатов. Понижение  $I_3/I_1$  между максимумом и первым минимумом, вероятно, связано с высвобождением пирена из-за перестройки ассоциатов при переходе в гидрофобные ИПК, неполярные домены которых способны растворять пирен. Видно, что при  $pH > 4.0$  (выше второго минимума), ассоциаты разрушаются и полимеры не взаимодействуют, о чем свидетельствует увеличение  $I_3/I_1$  до значений, характерных для водного раствора пирена в присутствии свободных макромолекул полимеров.

На основании полученных данных можно сделать вывод о существовании нового критического явления, для которого наблюдается переход "гидрофильный ассоциат – физическая смесь полимеров", а в качестве критерия такого перехода может служить величина второй критической  $pH$  комплексообразования ( $pH_{крит.2}$ ). Следовательно, можно констатировать, что для систем неионный полимер-ПАК существует два типа критических  $pH$  комплексообразования ( $pH_{крит.1}$  и  $pH_{крит.2}$ ), определяющих конформационное состояние комплементарных макромолекул в процессе комплексообразования. Значение  $pH_{крит.1}$  практически совпадает с  $pH_{крит.}$  комплексообразования, определяемой из данных турбидиметрии. Значение  $pH_{крит.2}$  соответствует второму минимуму на кривой зависимости  $I_3/I_1$ - $pH$ , наличие которого свидетельствует о формировании ассоциатов с ярко выраженной гидрофильностью.

С целью дальнейшего изучения возможности реализации интермакромолекулярных переходов при изменении  $pH$  в настоящей работе методами динамического лазерного светорассеяния и электрофореза изучено влияние  $pH$  на средний диаметр  $\langle d \rangle$ , его полидисперсность и  $\zeta$ -потенциал частиц поликомплексов на основе и ПАК и неионного полимера полидиметилакриамида (ПДМААМ), способного участвовать в реакциях комплексообразования посредством водородных связей.

На рисунке 6а приведены зависимости относительной интенсивности  $I_3/I_1$  и оптической плотности 0.01 М растворов ПДМААМ-ПАК (1:1 мол.) от  $pH$  среды. Из полученных данных следует, что величина первой критической  $pH$  ( $pH_{крит.1}$ ) находится в области  $3.75 \pm 0.05$ , а  $pH_{крит.2}$  –  $4.25 \pm 0.05$ . На рисунке 6б представлены результаты, полученные методом динамического светорассеяния, а именно изменение среднего диаметра  $\langle d \rangle$  находящихся в растворе частиц от  $pH$ . Видно, что полученные данные соответствуют значениям  $pH_{крит.1}$  и  $pH_{крит.2}$ , определенным из кривых зависимостей относительной интенсивности и оптической плотности ПДМААМ-ПАК с помощью турбидиметрии и люминесцентной спектроскопии. Так, ниже  $pH_{крит.1}$  ( $pH < 3.75$ ) диаметр частиц минимален (около 100 нм) и остается практически постоянным вплоть до  $pH$  2.8, далее поликомплексы агрегируют с образованием частиц размером до 900 нм. Из полученных данных видно, что выше  $pH_{крит.1}$  поликомплексы растворяются, а  $\langle d \rangle$  увеличивается снова. Это, как уже указывалось выше, связано с образованием гидрофильных ассоциатов развернутой структуры, гидродинамический радиус которых максимален при  $pH$   $4.18 \pm 0.05$ . При дальнейшем повышении  $pH$  ассоциаты

начинают разрушаться вплоть до  $pH_{крит.2}$ , выше которой макромолекулы полимеров находятся в изолированном состоянии друг от друга. Кроме того, это указывает и на то, что не участвующие в комплексообразовании сегменты ПАК присутствуют в растворе даже в сильнокислой области.

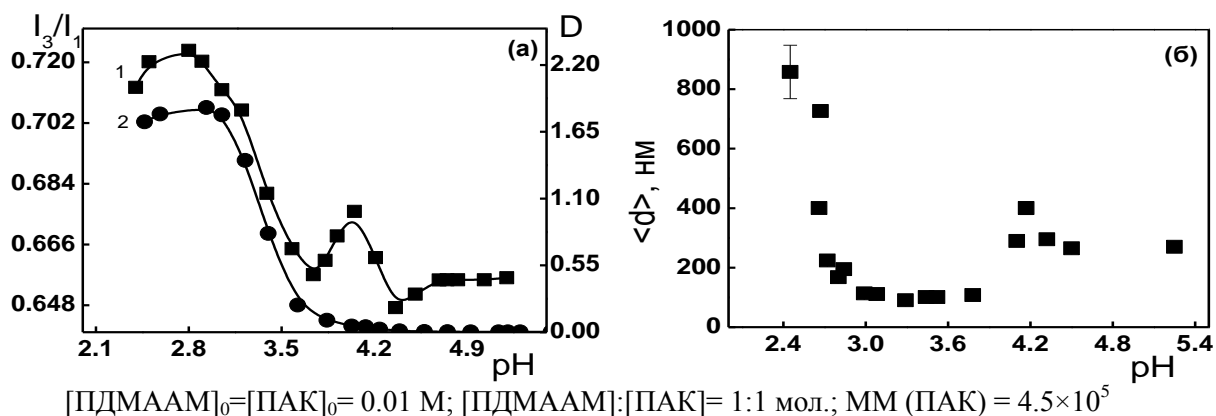


Рисунок 6 – Зависимость  $I_3/I_1$  (1), оптической плотности (2) и среднего диаметра частиц ИПК ПДМААМ-ПАК (б) от pH

Это, вероятно, обуславливает постоянство радиуса образующихся частиц ИПК и их агрегационную устойчивость в интервале pH от 3.75 до 2.80. Тем не менее, уменьшение pH увеличивает  $\zeta$ - потенциал и приближает его к нулю, что также подтверждает образование больших кластерных частиц ИПК. При этом уменьшение pH способствует снижению заряда частиц, что ведет к их агрегации. Кроме того, зависимость  $\zeta$ - потенциала поликомплексных частиц от pH обнаруживает изломы в области  $pH_{крит.1}$  и pH, когда обнаружена потеря агрегационной устойчивости поликомплексов ( $pH$  2.80). Следует ожидать, что существование  $pH_{крит.2}$  характерно и для других полимерных пар "неионный полимер-поликарбоновая кислота". Поэтому представляется возможным использовать эту величину, соответствующую переходу "гидрофильный ассоциат-смесь полимеров", в качестве нового критерия комплексообразующей способности полимеров.

### Влияние ионной силы и температуры на комплексообразование в системе неионный полимер-полиакриловая кислота

В литературе до постановки настоящей работы продолжал оставаться дискуссионным вопрос о влиянии ионной силы растворов на стабильность ИПК, образованных водородными связями. Так, по мнению одних авторов введение низкомолекулярного электролита в водный раствор сопровождается снижением стабильности образующегося ИПК [30], в других работах, напротив, сообщается о том, что увеличение ионной силы способствует комплексообразованию [31].

С использованием  $pH_{крит.}$  в качестве количественного критерия способности полимеров к комплексообразованию нами систематически исследовано влияние ионной силы на интерполимерные взаимодействия ПАК с рядом неионных полимеров [11, 32–36].

При этом установлено, что все изученные полимеры можно разделить на 2 группы. Первую составляют полимеры, для которых повышение ионной силы при комплексообразовании с ПАК сопровождается сдвигом  $pH_{крит.}$  в область больших значений,

что связано с усилением комплексообразующей способности полимеров. В данную группу входят гидроксиэтилцеллюлоза (ГЭЦ), метицеллюлоза (МЦ), полиакриламид (ПААМ), полидиметилакриламид (ПДМААМ), полиэтиленоксид (ПЭО), поливиниловый спирт (ПВС), ПВЭЭГ, поливиниловый эфир диэтиленгликоля (ПВЭДЭГ), полигидроксиэтилакрилат (ПГЭА), СПЛ ВЭЭГ-ВБЭ, СПЛ ВЭДЭГ-ВБЭ, СПЛ ГЭА-ВБЭ. Для второй группы полимеров – гидроксипропилцеллюлоза (ГПЦ), поли-N-изопропилакриламид (НИПААМ), ПВМЭ, поли-N-винилпирролидон (N ВП) добавление солей в растворы ИПК приводит к понижению  $pH_{крит.}$ , что указывает на ослабление полимер-полимерных взаимодействий.

В таблице 1 представлены данные по определению численных значений  $pH_{кр.}$  для систем ПАК-неионный полимер при концентрации полимеров в смеси 0.01 моль/л и соответствующих молекулярно-массовых характеристиках в отсутствии низкомолекулярного электролита, а также при наличии в системе NaCl с концентрацией 0.05 моль/л. Анализ полученных данных позволяет четко разделить полимеры с высокой и низкой комплексообразующей способностью, о чем свидетельствуют соответствующие значения  $pH_{крит.}$  К наименее комплексообразующим полимерам можно отнести ПВЭЭГ и ПГЭА, к наиболее комплексообразующим – поли-НИПААМ, ПВМЭ и поли- N ВП (ПВП). При этом повышение ионной силы раствора способствует повышению комплексообразующей способности полимеров для слабозаимодействующей системы и снижению устойчивости ИПК в сильновзаимодействующих системах

Таблица 1 – Величины  $pH_{крит.1.}$ , определенные для эквимольного соотношения компонентов в системе неионный полимер – ПАК (концентрация полимеров 0.01 моль/л)

Система	$pH_{кр.}$ бессолевого раствора	$pH_{кр.}$ в присутствии 0.05 моль/л NaCl
ПАК-ПВЭЭГ	2.45±0.05	2.97±0.05
ПАК-ГЭА	2.65±0.05	3.22±0.05
ПАК-ПВС	2.67±0.05	3.21±0.05
ПАК-ПААМ	2.90±0.05	3.54±0.05
ПАК-ПЭО	2.97±0.05	3.53±0.05
ПАК-ГЭЦ	2.85±0.05	3.08±0.05
ПАК-ПДМААМ	3.29±0.05	3.59±0.05
ПАК-МЦ	3.00±0.05	3.22±0.05*
ПАК-ПВЭДЭГ	3.10±0.05	3.85±0.05**
ПАК-ВЭЭГ-ВБЭ (I)	3.02±0.05	3.28±0.05
(II)	3.24±0.05	3.48±0.05
ПАК-ГПЦ	3.66±0.05	3.52±0.05
ПАК-ПИПААМ	4.60±0.05	4.17±0.05
ПАК-ПВМЭ	4.85±0.05	4.08±0.05
ПАК-ПВП	4.85±0.05	4.13±0.05

\*- концентрация NaCl 0.025 моль/л

\*\* - концентрация NaCl 0.1 моль/л

Рассмотрим вероятные причины двойственного влияния ионной силы на комплексообразующую способность приведенных выше полимеров по отношению к ПАК. Как отмечалось выше, введение солей в систему неионный полимер – ПАК – растворитель сопровождается двумя конкурирующими процессами: дополнительной диссоциацией карбоксильных групп ПАК и ухудшением термодинамического качества растворителя по отношению к полимерам. Первый фактор является неблагоприятным, так как лишь недиссоциированные функциональные группы ПАК могут участвовать в формировании водородных связей. Напротив, второй фактор усиливает гидрофобные взаимодействия в водной среде, что способствует дополнительной стабилизации поликомплексов. Очевидно, что в зависимости от рН среды может доминировать тот или иной фактор.

Как отмечалось выше, для первой группы полимеров, которые способны формировать ИПК только в сильноокислых средах, присутствие низкомолекулярных солей способствует комплексообразованию. Речь идет об изменении качества растворителя по отношению к полимерным компонентам поликомплексов в сторону исключения контактов полимер-растворитель и, как следствие, усиления гидрофобных взаимодействий. Принимая во внимание условия формирования ИПК, т.е. кислотность раствора и пренебрежительно малое количество присутствующих вдоль макроцепей карбоксилат-анионов, роль диссоциации карбоксильных групп ПАК в протекании интерполимерной реакции в данных условиях становится незначительной. Таким образом, очевидно, что фактор гидрофобизации частиц ИПК в присутствии низкомолекулярных солей является доминирующим.

При рассмотрении второй группы полимеров, обладающих высокой комплексообразующей способностью по отношению к ПАК и характеризующимися высокими значениями  $pH_{кр.}$ , очевидно доминирует фактор, связанный с дополнительной диссоциацией карбоксильных групп ПАК и уменьшением способности поликислоты к комплексообразованию. Как видно из таблицы для второй группы полимеров  $pH_{крит.}$  лежит в области 4.65–4.85 (за исключением ГПЦ), что близко к константе диссоциации ПАК. Следовательно, что в структуре ПАК имеется определенное количество карбоксилат-анионов, неспособных участвовать в образовании водородных связей. Введение полиэлектролитов усиливает диссоциацию карбоксильных групп поликислоты и поэтому для достижения требуемого количества СООН-групп, способных принимать участие в образовании водородных мостиков, требуется более низкий показатель кислотности среды. По-видимому, превалирование эффекта влияния гидрофобных взаимодействий на стабильность ИПК в данных условиях теряет свою силу. Тем не менее, следует отметить, что именно сильногидрофобизированные участки в структуре ПИПААМ, ПВМЭ, ПВП и ГПЦ за счет дополнительного вклада гидрофобных взаимодействий позволяют достигать минимального количества карбоксильных групп ПАК, принимающих участие в образовании водородных связей, а это, в свою очередь, делает структуру ИПК чувствительной к изменению ионизационного равновесия в макромолекуле поликислоты. Очевидно, что формируемая водородная сетка ИПК является достаточно лабильной структурой, а введение электролитов вызывает ее разрушение.

В работе [37] исследовано влияние температуры на водные растворы поликомплексов компактной структуры и гидрофильных ассоциатов ПАК с различными неионными полимерами. Показано, что повышение температуры способствует усилению комплексообразующей способности поликарбоновой кислоты по отношению к неионным полимерам с относительно высокой гидрофобностью (гидроксипропилцеллюлоза, сополимер винилового эфира этиленгликоля с винилбутиловым эфиром, поли-N,N-диметилакриламид) и частичную дестабилизацию поликомплексов образованных неионными полимерами с

высокой гидрофильностью (гидроксиэтилцеллюлоза, поливиниловый эфир этиленгликоля, полиакриламид). Для систем ПАК-неионный полимер, в которых последний проявляет нижнюю критическую температуру растворения и образует гидрофильные ассоциаты в водных растворах, повышение температуры вызывает конформационный переход «гидрофильный ассоциат-ИПК компактной структуры». Показано, что характер влияния температуры на смещение равновесия "разрушение водородных связей – усиление гидрофобных взаимодействий" в ИПК и гидрофильных ассоциатах может меняться в зависимости от рН (степень ионизации поликислоты) и молекулярной массы полимеров.

### Заключение

Обобщая полученные данные по влиянию рН на структуру частиц поликомплексов на основе неионный полимер-ПАК в водных растворах, можно заключить, что в зависимости от рН возможно существование 3 областей, при которых ПАК и неионный полимер образуют:

- а) гидрофобный ИПК ( $pH < pH_{крит.1}$ )
- б) межмакромолекулярный гидрофильный ассоциат (в диапазоне  $pH_{крит.1} \div pH_{крит.2}$ )
- с) комплексообразование отсутствует ( $pH > pH_{крит.2}$ ).

Схематическое изображение данных переходов представлено на рисунке 7.

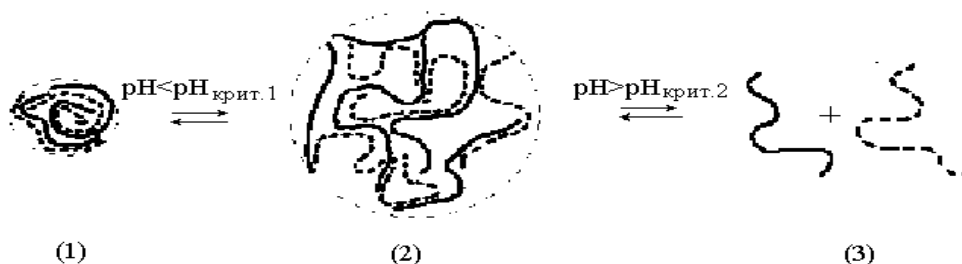


Рисунок 7 – Схема переходов между ИПК (1), гидрофильным ассоциатом (2) и не взаимодействующими макромолекулами (3)

Результаты фундаментальных исследований могут быть эффективно реализованы при разработке методов создания новых пленочных композиционных материалов на основе ИПК поликарбонатовых кислот с водорастворимыми неионными синтетическими полимерами и полисахаридами. В частности, установлено [38], что при  $pH < pH_{крит.}$  формирование однородных пленок невозможно в связи с выпадением ИПК, при  $pH > pH_{крит.2}$  полимеры образуют мутную пленку вследствие несовместимости полимерных компонентов. Образование однородных пленок возможно в интервале  $pH_{крит.} > pH > pH_{крит.2}$ , когда в растворах формируются слабые гидрофильные ассоциаты благодаря слабым водородным связям, способствующим совместимости полимеров. Показана возможность использования сшитых пленок для создания систем контролируемого высвобождения лекарственного вещества, при этом физиологически активных веществ регулируется при изменении степени сшивания полимерной матрицы, ионной силы и рН среды.

### Литература:

1. Бектуров Е.А., Бимендина Л.А. Интерполимерные комплексы – Алма-Ата: Наука, 1977. – 264 с.
2. Кабанов В.А., Паписов И.М. Комплексообразование между комплементарными синтетическими полимерами и олигомерами в разбавленных растворах // Высокомолек. соед. – 1979. – Т.21А. – № 2. – С.244.
3. Bekturov E.A., Bimendina L.A. Interpolymer complexes // Adv. Polym. Sci. – 1981. – Vol.41. – P.99.
4. Tsuchida E., Abe K. Interactions between macromolecules in solution and intermacromolecular complexes // Adv. Polym. Sci. –1982. –Vol. 45. –P.1.
5. Бектуров Е.А., Бимендина Л.А. Критические явления при образовании интерполимерных комплексов // Вестн. АН КазССР. – 1989. – № 10. – С.43–47.
6. Ikawa T., Abe K., Honda K., Tsuchida E. Interpolymer complex between poly(ethylene oxide) and poly(carboxylic acid) // J. Polym. Sci.: Polym. Chem. Ed. – 1975. – Vol.13, № 7 – P.1505–1514.
7. Baranovsky V., Petrova T., Rashkov I. Complex formation between poly(methacrylic acid) and poly(propylene glycol) in aqueous solutions // Eur. Polym. J. – 1991. – Vol.27. – P. 1045.
8. Nurkeeva Z. S., Mun G. A., Khutoryanskiy V. V. Interpolymer Complexes of Poly(glycol vinyl ethers) and Related Composite Materials (Review)// Polymer Sci.. – 2001. – Vol.43B, №3. – P.146–155.
9. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Bitekenova A.B. Effect of copolymer composition on interpolymer complex formation of (co)poly (vinil ether)s with poly(acrylic acid) in aqueous and organic solutions // Macromol. Rapid Commun. – 2000. – Vol.21. – №7.– P.381–384.
10. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Mangazbaeva R.A. Complex formation of methylcellulose with poly(acrylic acid) // Polym. Int. – 2000. – Vol. 49. – P.867–870.
11. Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Mun G.A., Bitekenova A.B. Complexation of Poly(acrylic acid) with Poly(vinyl methyl ether) in the Presence of Inorganic Salts and Lidocaine Hydrochloride // Polymer Science, Ser. B. – 2003. – Vol. 45. – № 11–12. – P.365–369.
12. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Kan V.A., Sergaziyev A. , Shaikhutdinov E.M. Effect of Hydrophobic Interactions on Complexing Behavior of Vinyl Ether Copolymers // Polymer Sci. B. – 2001. – Vol.43, №10. – P.1867–1872.
13. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Sergaziyev A.D. Interpolymer complexes of copolymers of vinyl ether of diethyleneglycol with poly(acrylic acid)// Colloid Polym Sci. 2002. – Vol.280. – №3. – P.282–289.
14. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Akhmetkalieva G.T., Shmakov S.N., Khutoryanskiy V.V., Lee S.C., Park K. Novel Temperature-Responsive Water-Soluble Copolymer based on 2-hydroxyethyl acrylate and Vinyl Butyl Ether and Their Interactions with Poly(acrylic acid) // J. Polym. Sci.: Part B: Polym. Phys. – 2006. – Vol. 44. – P. 195–204.
15. Olea A.F., Thomas J.K. Fluorescence studies of the conformational changes of poly(methacrylic acid) with pH // Macromolecules. – 1989. – Vol.22. – P.1165–1169.
16. Amiji M.M. Pyrene fluorescence study of chitosan self-association in aqueous solution // Carbohydrate Polymers – 1995. – Vol.26. – P.211–213.
17. Turro N.J., Kuo P.L. Fluorescence probes for aqueous solutions of nonionic micelles // Langmuir– 1985. – Vol.1. – P.170–172.
18. Evertsson H., Nilsson S. Microstructures formed in aqueous solutions of a hydrophobically modified nonionic cellulose derivative and sodium dodecyl sulfate: a fluorescence probe investigation // Carbohydrate Polymers – 1999. – Vol.40. – P.293–298.
19. Song L., Liang D., Chen Z., Fang D., Chu B. DNA sequencing by capillary electrophoresis using mixtures of polyacrylamide and poly(N,N-dimethylacrylamide) // J. Chromatography A. – 2001. – Vol. 915. – P. 231–239.
20. Neumann M. G., Schmitt C.C., Iamazaki E.T. A fluorescence emission study of the formation of induced premicelles in solutions of polyelectrolytes and ionic surfactants // J. Colloid. Interface Sci. – 2003. – Vol.264. – P.490–495.

21. Rangarajan B., Coons L.S., Scranton A.B. Characterization of hydrogels using luminescence spectroscopy // *Biomaterials* – 1996. – Vol.17. – P.649–661
22. Sivadasan K., Somasundaran P., Turro N.J. Fluorescence and viscometry of complexation of poly(acrylic acid) with poly(acrylamide) and hydrolysed poly(acrylamide) // *Colloid Polym. Sci.* – 1991. – Vol.269. – P.131–137.
23. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Sarybaeva G.S., Dubolazov A.V. pH-effects in the complex formation of polymers I. Interaction of poly(acrylic acid) with poly(acrylamide) // *Eur. Polym. J.* – 2003. – Vol.39. – P.1687–1691.
24. Chen H.L., Morawetz H. Characterization of polymer miscibility by fluorescence techniques. Blends of styrene copolymers carrying hydrogen bond donors with polymethacrylates // *Macromolecules* – 1989. – Vol.22. – P.159.
25. Oyama H.T., Tang W.T., Frank C.W. Effect of hydrophobic interaction in the poly(methacrylic acid)/pyrene-end-labeled poly(ethylene glycol) complex // *Macromolecules* – 1987. – Vol.20. – P.1839–1847.
26. Khutoryanskiy V.V., Dubolazov A.V., Nurkeeva Z.S., Mun G.A. pH Effects in the Complex Formation and Blending of Poly(acrylic acid) with Poly(ethylene oxide) // *Langmuir*. – 2004. – №20. – P.3785–3790.
27. Kalyanasundaram, K., & Thomas, J. K. Environmental effects on vibronic band intensities in pyrene monomer fluorescence and their application in studies of micellar systems // *J. Am. Chem. Soc.* – 1977. – Vol.99. – P.2039–2044.
28. Oyama H.T., Tang W.T., Frank C.W. Complex formation between poly(acrylic acid) and pyrene-end-labeled poly(ethylene glycol) in aqueous solution // *Macromolecules*. – 1987. – Vol.20. – P.474–480.
29. Turro N.J., Caminati G., Kim J. Phosphorescence from a bromonaphthalene lumophore as a photophysical probe of polymer conformation and interpolymer interactions // *Macromolecules* – 1991. – Vol.34. – P. 4054–4060.
30. Бельникевич Н.Г., Будтова Т.В., Иванова Н.П., Панарин Е.Ф., Панов Ю.Н., Френкель С.Я. Комплексообразование в водных растворах смесей полиакриловой кислоты с поливиниловым спиртом и его сополимерами // *Высокомолек. соед.* – 1989. – Т.31.А. № 8. – С.1691–1697.
31. Staikos G., Tsitsilianis C. Viscometric investigation of poly(acrylic acid) – polyacrylamide interpolymer association // *J. Appl. Polym. Sci.* 1991. – Vol.42. –P.867–872.
32. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Sergaziev A.D. Complex formation between poly(vinyl ether of diethyleneglycol) and polyacrylic acid. I.Effect of low molecular salts and phenols additives // *Eur.Polym.J.* – 2001. – Vol. 37.6. – P.1233–1237.
33. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Mangazbaeva R.A. Interpolymer complexes of methylcellulose with polycarboxylic acids in aqueous solutions // *Polymer Science B* – 2001. – №3–4, – P.73–76.
34. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryansky V.V. Interpolymer complexes of water-soluble nonionic polysaccharides with polycarboxylic acids and their applications (Review) // *Macromol. Biosci.* – 2003. – №3. – P. 283–295.
35. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Dubolazov A.V. Effect of pH and Ionic Strength on Complex Formation between Poly(acrylic acid) and Hydroxyethyl Cellulose in Aqueous Solutions // *Polymer Science, Ser. B.* – 2003. – Vol. 45. – №11–12. – P. 361–364.
36. Khutoryanskiy V.V., Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Dubolazov A.V. pH and salt effects on interpolymer complexation via hydrogen bonding in aqueous solutions // *Polym. Int.* – 2004. – Vol. 53. – P 1382–1387.
37. Khutoryanskiy V.V., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Dubolazov A.V. Effect of temperature on aggregation/dissociation behavior of interpolymer complexes stabilized by hydrogen bonds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2004. – Vol. 93. – P.1946–1950.
38. Dubolazov A.V., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Design of Mucoadhesive Polymeric Films Based on Blends of Poly(acrylic acid) and (Hydroxypropyl)cellulose // *Biomacromolecules*. – 2006. – №7. – P.1637–1643.



**References:**

1. Bekturov E.A., Bimendina L.A. Interpolimernye komplekсы – Alma–Ata: Nauka, 1977. – 264 s.
2. Kabanov V.A., Papisov I.M. Kompleksoobrazovanie mezhdru komplementarnymi sinteticheskimi polimerami i oligomerami v razbavlennyh rastvorah // Vysokomolek. soed. – 1979. – T.21A. – № 2. – S.244.
3. Bekturov E.A., Bimendina L.A. Interpolymer complexes // Adv. Polym. Sci. – 1981. – Vol.41. – P.99.
4. Tsuchida E., Abe K. Interactions between macromolecules in solution and intermacromolecular complexes // Adv. Polym. Sci. – 1982. – Vol. 45. – P.1.
5. Bekturov E.A., Bimendina L.A. Kriticheskie javlenija pri obrazovanii interpolimernyh kompleksov // Vestn. AN KazSSR. – 1989. – № 10. – S.43–47.
6. Ikawa T., Abe K., Honda K., Tsuchida E. Interpolymer complex between poly(ethylene oxide) and poly(carboxylic acid) // J. Polym. Sci.: Polym. Chem. Ed. – 1975. – Vol.13, № 7 – P.1505–1514.
7. Baranovsky V., Petrova T., Rashkov I. Complex formation between poly(methacrylic acid) and poly(propylene glycol) in aqueous solutions // Eur. Polym. J. – 1991. – Vol.27. – P. 1045.
8. Nurkeeva Z. S., Mun G. A., Khutoryanskiy V. V. Interpolymer Complexes of Poly(glycol vinyl ethers) and Related Composite Materials (Review)// Polymer Sci.. – 2001. – Vol.43B, №3. – P.146–155.
9. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Bitekenova A.B. Effect of copolymer composition on interpolymer complex formation of (co)poly (vinil ether)s with poly(acrylic acid) in aqueous and organic solutions // Macromol. Rapid Commun. – 2000. – Vol.21. – №7. – P.381–384.
10. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Mangazbaeva R.A. Complex formation of methylcellulose with poly(acrylic acid) // Polym. Int. – 2000. – Vol. 49. – P.867–870.
11. Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Mun G.A., Bitekenova A.B. Complexation of Poly(acrylic acid) with Poly(vinyl methyl ether) in the Presence of Inorganic Salts and Lidocaine Hydrochloride // Polymer Science, Ser. B. – 2003. – Vol. 45. – № 11–12. – P.365–369.
12. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Kan V.A., Sergaziyev A. , Shaikhutdinov E.M. Effect of Hydrophobic Interactions on Complexing Behavior of Vinyl Ether Copolymers // Polymer Sci. B. – 2001. – Vol.43, №10. – P.1867–1872.
13. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Sergaziyev A.D. Interpolymer complexes of copolymers of vinyl ether of diethyleneglycol with poly(acrylic acid)// Colloid Polym Sci. 2002. – Vol.280. – №3. – P.282–289.
14. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Akhmetkaliyeva G.T., Shmakov S.N., Khutoryanskiy V.V., Lee S.C., Park K. Novel Temperature–Responsive Water–Soluble Copolymer based on 2–hydroxyethyl acrylate and Vinyl Butyl Ether and Their Interactions with Poly(acrylic acid) // J. Polym. Sci.: Part B: Polym. Phys. – 2006. – Vol. 44, – P. 195–204.
15. Olea A.F., Thomas J.K. Fluorescence studies of the conformational changes of poly(methacrylic acid) with pH // Macromolecules. – 1989. – Vol.22. – P.1165–1169.
16. Amiji M.M. Pyrene fluorescence study of chitosan self–association in aqueous solution // Carbohydrate Polymers – 1995. – Vol.26. – P.211–213.
17. Turro N.J., Kuo P.L. Fluorescence probes for aqueous solutions of nonionic micelles // Langmuir– 1985. – Vol.1. – P.170–172.
18. Evertsson H., Nilsson S. Microstructures formed in aqueous solutions of a hydrophobically modified nonionic cellulose derivative and sodium dodecyl sulfate: a fluorescence probe investigation // Carbohydrate Polymers – 1999. – Vol.40. – P.293–298.
19. Song L., Liang D., Chen Z., Fang D., Chu B. DNA sequencing by capillary electrophoresis using mixtures of polyacrylamide and poly(N,N–dimethylacrylamide) // J. Chromatography A. – 2001. – Vol. 915. – P. 231–239.
20. Neumann M. G., Schmitt C.C., Iamazaki E.T. A fluorescence emission study of the formation of induced premicelles in solutions of polyelectrolytes and ionic surfactants // J. Colloid. Interface Sci. – 2003. – Vol.264. – P.490–495.
21. Rangarajan B., Coons L.S., Scranton A.B. Characterization of hydrogels using luminescence spectroscopy // Biomaterials – 1996. – Vol.17. – P.649–661.

22. Sivadasan K., Somasundaran P., Turro N.J. Fluorescence and viscometry of complexation of poly(acrylic acid) with poly(acrylamide) and hydrolysed poly(acrylamide) // *Colloid Polym. Sci.* – 1991. – Vol.269. – P.131–137.
23. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Sarybaeva G.S., Dubolazov A.V. pH-effects in the complex formation of polymers I. Interaction of poly(acrylic acid) with poly(acrylamide) // *Eur. Polym. J.* – 2003. – Vol.39. – P.1687–1691.
24. Chen H.L., Morawetz H. Characterization of polymer miscibility by fluorescence techniques. Blends of styrene copolymers carrying hydrogen bond donors with polymethacrylates // *Macromolecules* – 1989. – Vol.22. – P.159.
25. Oyama H.T., Tang W.T., Frank C.W. Effect of hydrophobic interaction in the poly(methacrylic acid)/pyrene-end-labeled poly(ethylene glycol) complex // *Macromolecules* – 1987. – Vol.20. – P.1839–1847.
26. Khutoryanskiy V.V., Dubolazov A.V., Nurkeeva Z.S., Mun G.A. pH Effects in the Complex Formation and Blending of Poly(acrylic acid) with Poly(ethylene oxide) // *Langmuir*. – 2004. – № 20. P.3785–3790.
27. Kalyanasundaram, K., & Thomas, J. K. Environmental effects on vibronic band intensities in pyrene monomer fluorescence and their application in studies of micellar systems // *J. Am. Chem. Soc.* – 1977. – Vol.99. – P.2039–2044.
28. Oyama H.T., Tang W.T., Frank C.W. Complex formation between poly(acrylic acid) and pyrene-end-labeled poly(ethylene glycol) in aqueous solution // *Macromolecules*. – 1987. – Vol.20. – P.474–480.
29. Turro N.J., Caminati G., Kim J. Phosphorescence from a bromonaphtalene lumophore as a photophysical probe of polymer conformation and interpolymer interactions // *Macromolecules* – 1991. – Vol.34. – P. 4054–4060.
30. Bel'nikovich N.G., Budtova T.V., Ivanova N.P., Panarin E.F., Panov Ju.N., Frenkel' S.Ja. Kompleksoobrazovanie v vodnyh rastvorah smesey poliakrilovoj kisloty s polivinilovym spirtom i ego sopolimerami // *Vysokomolek. soed.* – 1989. – T.31.A. № 8. – S.1691–1697.
31. Staikos G., Tsitsilianis C. Viscometric investigation of poly(acrylic acid) – polyacrylamide interpolymer association // *J. Appl. Polym. Sci.* 1991. – Vol.42. – P.867–872.
32. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Sergaziev A.D. Complex formation between poly(vinyl ether of diethyleneglycol) and polyacrylic acid. I.Effect of low molecular salts and phenols additives // *Eur.Polym.J.*–2001.–V.37.6.–P.1233–1237.
33. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Mangazbaeva R.A. Interpolymer complexes of methylcellulose with polycarboxylic acids in aqueous solutions // *Polymer Science B.* – 2001. – №3–4, – P.73–76.
34. Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryansky V.V. Interpolymer complexes of water-soluble nonionic polysaccharides with polycarboxylic acids and their applications (Review) // *Macromol. Biosci.* – 2003. – №3. – P. 283–295.
35. Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Khutoryanskiy V.V., Dubolazov A.V. Effect of pH and Ionic Strength on Complex Formation between Poly(acrylic acid) and Hydroxyethyl Cellulose in Aqueous Solutions // *Polymer Science, Ser. B.* – 2003. – Vol. 45. – №11–12. – P. 361–364.
36. Khutoryanskiy V.V., Mun G.A., Nurkeeva Z.S., Dubolazov A.V. pH and salt effects on interpolymer complexation via hydrogen bonding in aqueous solutions // *Polym. Int.* – 2004. – Vol. 53. – P 1382–1387.
37. Khutoryanskiy V.V., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Dubolazov A.V. Effect of temperature on aggregation/dissociation behavior of interpolymer complexes stabilized by hydrogen bonds // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2004. – Vol. 93. – P.1946–1950.
38. Dubolazov A.V., Nurkeeva Z.S., Mun G.A., Khutoryanskiy V.V., Design of Mucoadhesive Polymeric Films Based on Blends of Poly(acrylic acid) and (Hydroxypropyl)cellulose // *Biomacromolecules*. – 2006. – №7. – P.1637–1643.

*Поступила 22 марта 2023 г.*

МРНТИ 3132,27+3121,15

УДК 547/853.1+861.3+543.42

## СИНТЕЗ НЕКОТОРЫХ АМИНОФОСФОНАТОВ НА ОСНОВЕ ПИРИМИДИНИЛПИПЕРАЗИНА

Тен А.Ю.<sup>1</sup>, Бисенбай Д.<sup>1,2</sup>, Тұрсынова Б.Ф.<sup>1</sup>, Ю В.К.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова»

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби

Алматы, Республика Казахстан

e-mail: ten-assel@mail.ru

Аминофосфонаты – один из важных классов биологически активных соединений. Они привлекают внимание своим широким спектром биологического действия: антибактериальным, противовирусным, а также действуют как антибиотики, ингибиторы ферментов, пестициды и др. В условиях трехкомпонентной реакции Кабачника-Филдса осуществлен синтез некоторых аминофосфонатов - производных пиримидинилпиперазина. Соединения были выделены, очищены и охарактеризованы с помощью физико-химических методов анализа, в том числе ИК и ЯМР-спектроскопии. Для некоторых веществ исследована миелостимулирующая и рострегулирующая активность. Одно соединение проявило миелостимулирующую активность и одно – рострегулирующую. Кроме того, для всех синтезированных аминофосфонатов спрогнозирована потенциальная биологическая активность по программе PASS, а также с помощью сервисов для прогностического моделирования (SwissADME, ADMETLab) проанализировано их соответствие требованиям, предъявляемым к лекарственным препаратам.

**Ключевые слова:** Пиперазины, аминофосфонаты, реакция Кабачника-Филдса, миелостимулирующая активность, рострегулирующая активность, PASS, прогнозирование биологической активности.

Аминофосфонаттар - биологиялық белсенді қосылыстардың маңызды кластарының бірі болып табылады. Олар өзінің кең биологиялық әсер спектрімен назар аударады: бактерияға қарсы, вирусқа қарсы, сонымен қатар антибиотиктер, фермент ингибиторлары, пестицидтер және т.б. ретінде. Үш компонентті Кабачник-Филдс реакциясы жағдайында пиримидинилпиперазин туындыларының кейбір аминофосфонаттарының синтезі жүргізілді. Қосылыстар бөлініп алынды, тазартылды және физика-химиялық талдау әдістері, соның ішінде ИҚ және ЯМР спектроскопиясын қолдану арқылы сипатталды. Кейбір заттар үшін миелойнталандырғыш және өсу реттегіш белсенділіктер зерттелген. Бір қосылыс миелойнталандырғыш, ал біреуі өсу реттегіш белсенділікті көрсетті. Сонымен қатар, барлық синтезделген аминофосфонаттар үшін PASS бағдарламасы бойынша ықтимал биологиялық белсенділік болжанды, сондай-ақ болжамды модельдеу қызметтерінің (SwissADME, ADMETLab) көмегімен олардың дәрілік препараттарға қойылатын талаптарға сәйкестілігі талданды.

**Түйінді сөздер:** Пиперазиндер, аминофосфонаттар, Кабачник-Филдс реакциясы, миелойнталандырғыш белсенділік, өсу реттегіш белсенділік, PASS, биологиялық белсенділікті болжау.

*Aminophosphonates are one of the important classes of biologically active compounds. They attract attention with their wide range of biological effects: antibacterial, antiviral, and also act as antibiotics, enzyme inhibitors, pesticides, etc. The synthesis of some aminophosphonates - derivatives of pyrimidinylpiperazine was carried out under the conditions of the three-component Kabachnik-Fields reaction. The compounds were isolated, purified and characterized using physicochemical methods of analysis, including IR and NMR spectroscopy. Myelostimulating and growth-regulating activity has been studied for some substances. One compound showed myelostimulating activity and one showed growth-regulating activity. In addition, potential biological activity was predicted for all synthesized aminophosphonates according to the PASS program, and their compliance with the requirements for medicines was analyzed using predictive modeling services (SwissADME, ADMETLab).*

**Keywords:** Piperazines, aminophosphonates, Kabachnik-Fields reaction, myelostimulating activity, growth-regulating activity, PASS, prediction of biological activity.

В настоящее время все больше фосфорорганических соединений (ФОС) находят свое применение в промышленности [1], сельском хозяйстве и медицине [2]. Среди ФОС, обладающих фармакологической активностью, особое место принадлежит  $\alpha$ -аминофосфонатам, поскольку они являются биоизостерами природных аминокислот, т.е. обладают очень похожей структурой и электронным строением, благодаря чему могут быть рассмотрены в качестве конкурентных ингибиторов и антагонистов аминокислот. Кроме того, многочисленные исследования показали, что  $\alpha$ -аминофосфонаты обладают потенциальным антибактериальным, противоопухолевым, противомикробным, противовирусным и противотромботическим действием [3–5].

Представляется перспективным построение молекулы  $\alpha$ -аминофосфоната на основе нескольких фармакофорных центров, что возможно позволит получить соединение с усиленной биологической активностью и/или с новой. В качестве основного фармакофорного центра помимо фосфонатной группы была выбрана молекула пиримидинилпиперазина (Рисунок 1), поскольку она обладает большим биопотенциалом и входит в состав некоторых лекарственных средств различного спектра действия.

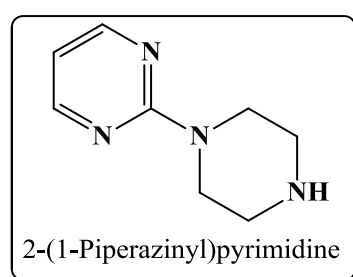


Рисунок 1 – Структурная формула 2-(1-пиперазинил)пиримидина

Так, например, из применяемых в медицине производных пиримидинилпиперазина хорошо известен Буспирон – анксиолитическое лекарственное средство, используемое для лечения при тревожных состояниях разного происхождения, особенно неврозах [6]. Много лет в борьбе с болезнью Паркинсона применяют агонист дофаминовых рецепторов – препарат Пирибедил [7]. Среди новых препаратов на базе пиримидинилпиперазина можно выделить появившийся в 2020 году Авапритиниб – новый селективный тирозинкиназный

ингибитор, использующийся для лечения метастатических гастроинтестинальных стромальных опухолей [8].

Для синтеза  $\alpha$ -аминофосфонатов удобным способом является трехкомпонентная «one-pot» реакция Кабачника-Филдса (Рисунок 2) [9]. В условиях реакций Кабачника-Филдса (кипячение в бензоле с использованием насадки Дина-Старка для отвода образующейся воды из реакционной смеси) получены соединения 2-7. Время реакции составило 32–52 часа. По окончании реакции бензол упаривают, целевой продукт отделяют от не вступивших в полной мере в реакцию исходных соединений методом колоночной хроматографии на  $Al_2O_3$  элюированием смесью хлороформ:гексан (1:1), выделяя вторую фракцию. Полученные аминофосфонаты представляют собой масла светло-желтого цвета.

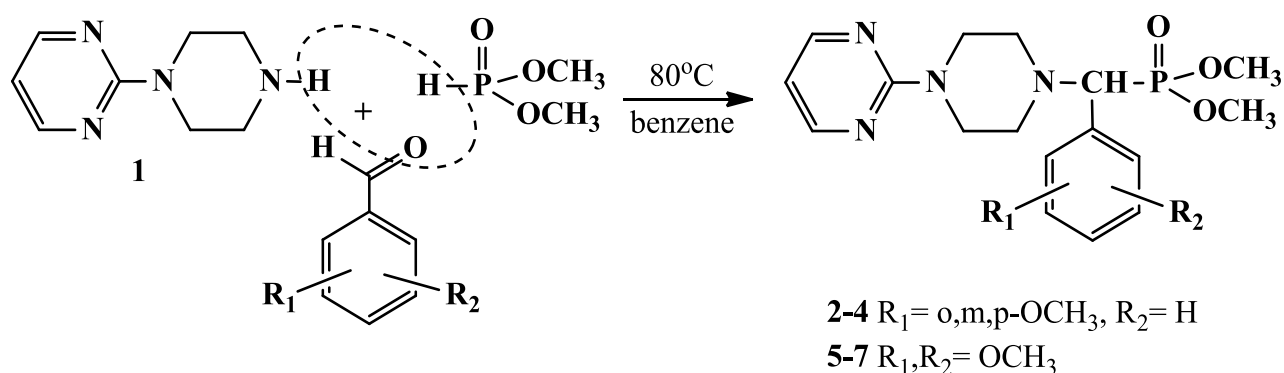


Рисунок 2 – Механизм синтеза  $\alpha$ -аминофосфонатов по реакции Кабачника-Филдса

Состав и строение синтезированных производных **1–8** подтверждены результатами элементного анализа и спектральными данными. Так, в ИК спектре представленных соединений наблюдается исчезновение полосы поглощения N-H-группы исходного вторичного амина при  $3500\text{--}3300\text{ см}^{-1}$ , что указывает на образование новых производных с ее участием. Наиболее характеристичные полосы поглощения связей P=O и P-C наблюдаются при  $1166\text{--}1168\text{ см}^{-1}$  и  $757\text{--}765\text{ см}^{-1}$ , соответственно. Полосы поглощения фенильных заместителей наблюдаются в высокочастотной области –  $3060\text{--}2951\text{ см}^{-1}$ , а также при  $781\text{--}656\text{ см}^{-1}$ , последнее соответствует внеплоскостным деформационным колебаниям бензольного кольца.

Более информативным методом доказательства образования целевых  $\alpha$ -аминофосфонатов является метод спектроскопии ядерно-магнитного резонанса (ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ), который и был применен для синтезированных соединений. В спектрах ПМР синтезированных соединений протоны метиленовых групп пиперазинового цикла дают два мультиплетных сигнала в области сильного поля при 1.50–2.77 м.д. и 2.49–3.14 м.д., что свидетельствует о магнитной неэквивалентности метиленовых протонов цикла и их взаимодействии друг с другом, причем первый мультиплет соотнесен с сигналами протонов в аксиальной ориентации, второй – в экваториальной. Протоны CH(P)-группы резонируют в диапазоне 3.82–3.90 м.д. Уширенные синглеты интенсивностью в 6 атомов водорода при 3.58–3.62 м.д. принадлежат протонам двух метоксигрупп фосфорильного фрагмента, а при 3.82–3.73 м.д. – протонам метоксигрупп метоксифенильного и диметоксифенильного фрагментов аминофосфонатов. Протоны пиридинового цикла дают слабопольные сигналы в области 6.46–6.92 м.д. и

8.29-8.45 м.д. Также наиболее слабopольные сигналы в области 6.95-7.58 м.д. принадлежат ароматическим протона (ди)метоксифенильных заместителей.

Углеродный состав также полностью соответствует предполагаемому составу полученных аминоксидов. Так сильнопольные сигналы двойной интенсивности при 48.5 –55.0 м.д. принадлежат углеродным атомам пиперазинового (С-2, С-6 и С-3, С-5) цикла. В этой же области при 52.1 –56.2 м.д. наблюдаются сигналы атомов углерода диметоксифосфорильного фрагмента. Слабopольная область «населена» ароматическими атомами углерода: в дальней части спектра наблюдаются сигналы при 124.5–159.5 м.д., принадлежащие ароматическим атомам углерода (ди)метоксифенильного заместителя, а также сигналы пиримидинового кольца при 115.3 –161.3 м.д., причем самый слабopольный сигнал принадлежит углероду, расположенному между двумя атомами азота. Метинный углерод  $\underline{C}H(P)$  резонирует при 66.6 –67.3 м.д. Сигналы атомов углерода (ди)метоксильных групп полученных производных наблюдаются в области 55.1–55.6 м.д.

Основной причиной развития химии органических соединений является в первую очередь поиск новых соединений с полезными свойствами, в их числе веществ, обладающих биологической активностью, поскольку вопрос здоровья всегда особо важен. В связи с этим завершающим этапом проведенного синтетического исследования является изыскание среди синтезированных соединений новых эффективных безопасных лекарственных средств, а также установление взаимосвязи между их строением и биологической активностью.

Поскольку синтезированные аминоксиды являются нерастворимыми в воде продуктами, для проведения фармакологического скрининга получены их водорастворимые формы – комплексы с  $\beta$ -циклодекстрином. Комплексы включения на основе циклодекстринов широко применяются и позволяют легко переводить жидкие вещества в твердые аморфные и кристаллические порошки [10, 11]. Такой прием позволяет увеличить стабильность веществ в воде и на воздухе, кроме того, устраняется запах и вкус исходного вещества, повышается его биодоступность, снижается токсичность.

Комплекс синтезированного ранее аналога с  $\beta$ -циклодекстрином проявил выраженную миелостимулирующую активность [12], поэтому выбор аминоксидной компоненты при конструировании молекулы аминоксидов 2–7 не случаен. Комплексы  $\beta$ -циклодекстрином соединений 5–7 под лабораторным шифром БИВ были также испытаны на миелостимулирующую активность, и по результатам два из них проявили низкую активность. Тем не менее одно соединение (БИВ-212) проявило умеренную миелостимулирующую активность. Если говорить точнее, то соединение обладало слабой эритропоэзстимулирующей активностью, умеренной лейкопоэзстимулирующей активностью. Но следует отметить ярко выраженную тромбоцитопоэзстимулирующую активность, где общий тромбоцитарный показатель превышал значения интактной и контрольной групп, а значения тромбокрита, широта распределения тромбоцитов и средний показатель тромбоцитов в крови также были высокими. Такое же выраженное восстановление наблюдалось в лимфоцитарных показателях. Таким образом, соединение проявило умеренную тромбоцитопоэз- и лейкопоэзстимулирующую активность с равномерным восстановлением гранулоцитарных и агранулоцитарных показателей.

Чтобы иметь возможность провести достоверную корреляцию «структура аминоксидов - миелостимулирующая активность» необходимо получить и исследовать как можно больше структурных аналогов. Для того, чтобы сделать вывод о влиянии количества метоксигрупп и их расположения в (ди)метоксифенильном заместителе

аминофосфонатов, и были синтезированы соединения 2-4, скрининг которых возможно позволит сделать соответствующие выводы. Работа в данном направлении еще ведется.

Кроме того, в лабораторных условиях был проведен опыт по изучению влияния  $\beta$ -циклодекстриновых комплексов синтезированных аминокислот на рострегулирующую активность семян сои (таблица 1, рисунок 3). Всхожесть семян определяли во влажных камерах, в 4-х кратной повторности, в каждой повторности по 10 семян.

Таблица 1 – Посевные качества семян сои

Варианты	Энергия прорастания семян, %	Лабораторная всхожесть, %	Заражение микрофлорой
КОНТРОЛЬ	80	100	+
ХЗР-34	70	100	+
ХЗР-35	100	90	

Как видно из таблицы 1 данные энергии прорастания и лабораторной всхожести семян сои, обработанных препаратом ХЗР-35, показали хорошие результаты по сравнению с контролем, кроме того, не наблюдается заражение образца бактериальной микрофлорой, что говорит о подавляющем влиянии препарата ХЗР-35. ХЗР-34, к сожалению, не смог превзойти контроль по показателям.



Рисунок 3 – Влияние препаратов ХЗР-34 и ХЗР-35 на прорастание, рост и развитие проростков сои

Все полученные молекулы обладают значительным фармакопотенциалом, поэтому представляется необходимым провести прогноз их возможной биологической активности, который можно осуществить с помощью компьютерной программы PASS online (Институт биомедицинской химии имени В.Н. Ореховича, Россия). Программа PASS online (Prediction of Activity Spectra for Substances) позволяет прогнозировать более 4300 видов биологической активности со средней точностью около 95% на основе анализа обучающей выборки, содержащей информацию о более чем 250000 лекарственных субстанций и биологически активных соединений [13]. Согласно прогнозам PASS соединения с большей долей

вероятности будут обладать тромболитической активностью, могут применяться в качестве антикоагулянтов и регуляторов кальция, а также при лечении атеросклероза, болезни Паркинсона, при лечении инсульта.

Чтобы быть эффективным в качестве лекарства, сильнодействующая молекула должна достичь своей цели в организме в достаточной концентрации и оставаться там в биоактивной форме достаточно долго, чтобы произошли ожидаемые биологические события. На более ранних этапах процесса поиска лекарственного средства, на этапе, когда рассматриваемых соединений много, а доступ к физическим образцам ограничен, разработка лекарств включает в себя оценку абсорбции, распределения, метаболизма и выделения (ADME-absorption, distribution, metabolism and excretion). В этом контексте компьютерные модели представляют собой достойную альтернативу экспериментам. Существует новый доступный веб-инструмент SwissADME, разработанный группой молекулярного моделирования Швейцарского института биоинформатики [14, 15]. SwissADME предоставляет бесплатный доступ к кейсу быстрых, но надежных прогностических моделей для физико-химических свойств, фармакокинетики, сходства с лекарствами и пригодности для медицинской химии. Согласно анализу, проведенному для аминоксифонатов 2–7, они обладают полезной терапевтической активностью, сродством к лекарственным средствам (Druglikeness), поскольку не нарушают правило Липинского и не идут вразрез с другими методами определения сродства. По шкале биодоступности соединения (The Abbot Bioavailability Score), определяющему четыре класса соединений с вероятностями из 11%, 17%, 56% или 85%, соединения 2-7 относятся к классу 56%. Фармакокинетический анализ показал высокую степень всасывания соединений 2–7 в ЖКТ. Согласно прогнозам программы ADMETLab [16] аминоксифонаты 2–7 обладают низкой острой оральной токсичностью (для крыс).

Таким образом, были синтезированы новые аминоксифонаты – производные пиримидинилпиперазина, которые были выделены и охарактеризованы. По результатам биологического скрининга соединение (БИВ-212) проявило миелостимулирующую активность, в том числе ярко выраженную тромбоцитопозстимулирующую активность, а соединение под шифром ХЗР-35 – рострегулирующую активность. Исследование остальных возможно позволит провести корреляцию «структура - активность». Согласно прогнозам PASS, SwissADME и ADMETLab все полученные аминоксифонаты обладают большим биопотенциалом и необходим их дальнейший скрининг, в первую очередь на выявленные компьютерными программами виды активности.

### **Экспериментальная часть**

*Общая методика получения аминоксифонатов 2-7.* В плоскодонную трехгорлую коническую колбу, снабженную насадкой Дина-Старка с обратным холодильником, помещают 0,0122 моль пиримидинпиперазина в 150 мл абс. бензола. Затем последовательно добавляют 0,0122 моль (ди)метоксибензальдегида и 0,0122 моль диметилфосфита. Реакционную смесь перемешивают в течение 20 мин при комнатной температуре. Далее при постоянном перемешивании нагревают смесь при температуре кипения бензола в течение 36-52 часов. После отгонки растворителя, продукт выделяют методом колоночной хроматографии на  $Al_2O_3$  элюированием смесью хлороформ:гексан (1:1), собирая вторую фракцию и получают аминоксифонаты 2-7 в виде желтого масла с выходом 55-80%.

*Общая методика получения комплексов включения веществ 2-7 с  $\beta$ -циклодекстрином.* Смешивают растворы 0,01 моль соединения 2-7 в 30 мл этилового спирта и 0,01 моль



β-циклодекстрина в 90 мл дистиллированной воды. Смесь помещают в сушильный шкаф, выпаривают этанол и воду при 50-55 °С. Получают комплексы включения в виде белого порошка с  $T_{пл.}$  выше 250 °С.

*Работа выполнена в рамках программно-целевого финансирования  
МНВО РК BR10965255*

### Литература:

1. Svara J., Weferling N., Hofmann T. Phosphorus Compounds, Organic // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 2000. – Vol. 27. – P.19–49. –[https://doi.org/10.1002/14356007.a19\\_545.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a19_545.pub2)
2. Kukhar V.P., Hudson H.R. Aminophosphonic and Aminophosphinic Acids, Chemistry and Biological Activity – New York: J. Wiley & Sons Ltd, 2000. – 660 p.
3. Rao X., Song Zh., He L. Synthesis and antitumor activity of novel α-aminophosphonates from diterpenic dehydroabietylamine // Heteroat. Chem. – 2008. – Vol. 19, No 5. – P.512–516. – <https://doi.org/10.1002/hc.20471>
4. Reddy Y, Haranadha, B, Siva kumar G, Reddy Ch, Dadapeer E, Reddy KS. Synthesis and Bioassay of α-aminophosphonates // Der Chemica Sinica. – 2012. – Vol.3, №4. – P. 817–823.
5. Xu Y., Yan K., Song B., Xu G., Yang S., Xue W., Hu D., Lu P., Ouyang G., Jin L., Chen Z. Synthesis and Antiviral Bioactivities of α-Aminophosphonates Containing Alkoxyethyl Moieties // Molecules. – 2006. – Vol. 11. – P. 666–676. – <https://doi.org/10.3390/11090666>
6. Loane C., Politis M. Buspirone: what is it all about? // Brain Res. – 2012. – No 21. – P. 111–118. – <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.04.032>
7. McLellan D., Chalmers R., Johnson R. Clinical and pharmacological evaluation of the effects of piribedil in patients with Parkinsonism // Actaneuroscand - 2009. – Vol. 1(51). – P. 74–82. – <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1975.tb01360>.
8. Филоненко Д.А., Медведева Б.М., Мещеряков А.А. Авапритиниб: новый тирозинкиназный ингибитор для лечения метастатических гастроинтестинальных стромальных опухолей. Обзор литературы и клиническое наблюдение // Современная онкология. – 2020. – Т. 22, № 4. – С.96–100. – <https://doi.org/10.26442/18151434.2020.4.200409>
9. Черкасов Р.А., Галкин В.И. Реакция Кабачника–Филдса: синтетический потенциал и проблема механизма // Успехи химии. – 1998. – Т. 67, № 10. – С. 940–968.
10. Uekama K. Recent aspects of pharmaceutical application of cyclodextrins //J. of phenomena and macrocyclic chemistry. – 2002. – Vol. 44. – P. 3–7.
11. Barse B., Kaul P., Banerjee A., Kaul C.L., Banerjee U.C. Cyclodextrins: emerging applications //Chimica oggi. – 2003. – Vol. 21, № 9. – P. 48–53.
12. Заявка на Патент РК на изобретение № 2021/0731.1 от 02.12.2021. Диметил((3-феноксифенил)(4-(пиримидин-2-ил)пиперазин-1-ил)метил)фосфонат и его комплекс с β-циклодекстрином, обладающий миелостимулирующей активностью/ Тен А.Ю., Фишер Д.Е., Пралиев К.Д., Бактыбаева Л.К., Дәулет Г.Д., Жумакова С.С., Ю В.К.
13. PASS online [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.way2drug.com/PASSOnline/index.php>. – Загл. с экрана.
14. Daina A., Michielin O., Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules // Scientific reports. – 2017. – Vol. 11. – N. 42717. – <https://www.nature.com/articles/srep42717>
15. SwissADME [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.swissadme.ch/> – Загл. с экрана.
16. ADMETlab 2.0 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://admetmesh.scbdd.com/>

**References:**

1. Svara J., Weferling N., Hofmann T. Phosphorus Compounds, Organic // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 2000. – Vol. 27. – P.19–49. – [https://doi.org/10.1002/14356007.a19\\_545.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a19_545.pub2)
2. Kukhar V.P., Hudson H.R. Aminophosphonic and Aminophosphinic Acids, Chemistry and Biological Activity – New York: J. Wiley & Sons Ltd, 2000. – 660 p.
3. Rao X., Song Zh., He L. Synthesis and antitumor activity of novel  $\alpha$ -aminophosphonates from diterpenic dehydroabietylamine // Heteroat. Chem. – 2008. – Vol. 19, No 5. – P.512–516. – <https://doi.org/10.1002/hc.20471>
4. Reddy Y, Haranadha, B, Siva kumar G, Reddy Ch, Dadapeer E, Reddy KS. Synthesis and Bioassay of  $\alpha$ -aminophosphonates // Der Chemica Sinica. – 2012. – Vol.3, №4. – P. 817–823.
5. Xu Y., Yan K., Song B., Xu G., Yang S., Xue W., Hu D., Lu P., Ouyang G., Jin L., Chen Z. Synthesis and Antiviral Bioactivities of  $\alpha$ -Aminophosphonates Containing Alkoxyethyl Moieties // Molecules. – 2006. – Vol. 11. – P. 666–676. – <https://doi.org/10.3390/11090666>
6. Loane C., Politis M. Buspirone: what is it all about? // Brain Res. – 2012. – No 21. – P. 111–118. – <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.04.032>
7. McLellan D., Chalmers R., Johnson R. Clinical and pharmacological evaluation of the effects of piribedil in patients with Parkinsonism // Actaneuroscand - 2009. – Vol. 1(51). – P. 74–82. – <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1975.tb01360>.
8. Filonenko D.A., Medvedeva B.M., Meshherjakov A.A. Avapritinib: novyj tirozinkinaznyj ingibitor dlja lechenija metastaticheskikh gastrointestinal'nyh stromal'nyh opuholej. Obzor literatury i klinicheskoe nabljudenie // Sovremennaja onkologija. – 2020. – T. 22, № 4. – S.96–100. – <https://doi.org/10.26442/18151434.2020.4.200409>.
9. Cherkasov R.A., Galkin V.I. Reakcija Kabachnika–Fildsa: sinteticheskij potencial i problema mehanizma // Uspehi himii. – 1998. – T. 67, № 10. – S. 940–968.
10. Uekama K. Recent aspekts of pharmaceutical applikation of cyclodextrins //J. of phenomena and macrocyclic chemistry. – 2002. – Vol. 44. – P. 3–7.
11. Barse B., Kaul P., Banerjee A., Kaul C.L., Banerjee U.C. Cyclodextrins: emerging applikations //Chimica oggi. – 2003. – Vol. 21, № 9. – P. 48–53.
12. Zajavka na Patent RK na izobrenenie № 2021/0731.1 ot 02.12.2021. Dimetil((3-fenoksifenil)(4-(pirimidin-2-il)piperazin-1-il)metil)fosfonat i ego kompleks s  $\beta$ -ciklodekstrinom, obladajushhij mielostimulirushhej aktivnost'ju/ Ten A.Ju., Fisher D.E., Praliev K.D., Baktybaeva L.K., Døulet G.D., Zhumakova S.S., Ju V.K.
13. PASS online [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.way2drug.com/PASSOnline/index.php>. – Zagl. s jekrana.
14. Daina A., Michielin O., Zoete V. SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules // Scientific reports. – 2017. – Vol. 11. – N. 42717. – <https://www.nature.com/articles/srep42717>
15. SwissADME [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.swissadme.ch/> – Zagl. s jekrana.
16. ADMETlab 2.0 [Elektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <https://admetmesh.scbdd.com/>

*Поступила 12 февраля 2023 г.*

## ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ



### *Ни Леонид Павлович*

доктор технических наук, профессор,  
академик НАН РК, лауреат  
Государственных премий СССР,  
заслуженный деятель науки КазССР

**1923–2005 гг.**

*Ни Леонид Павлович родился в 1923 г. во Владивостоке. В 1946 году с отличием закончил металлургический факультет Казахского горно-металлургического института (ныне КазНТУ). После окончания института непрерывно работал в системе Академии наук РК. Специалист в области теории и практики металлургии легких металлов. Долгие годы работал заведующим лабораторией и заместителем директора по научной работе Института металлургии и обогащения.*

*Ни Л.П. – один из основоположников нового направления в технологии производства глинозема – переработки высококремнистого алюминиевого сырья гидрощелочным методом. Ни Л.П. стоял у истоков алюминиевой промышленности Казахстана. За разработку и промышленное внедрение способа получения низкокачественных бокситов на Павлодарском алюминиевом заводе был удостоен Государственной премии СССР.*

*Ни Леонид Павлович внес значительный вклад в развитие науки в СССР и в Республике Казахстан.*

*Фундаментальные и прикладные исследования Л.П. Ни хорошо известны у нас и за рубежом. Большую работу Л.П. Ни вел по подготовке высококвалифицированных научных кадров. Под его научным руководством были подготовлены и защищены 40 кандидатских и 5 докторских диссертаций.*

*Ни Л.П. – автор более 700 опубликованных работ, в том числе 15 монографий, свыше 110 изобретений и патентов.*

*За заслуги в развитии металлургии и подготовке научных кадров он награжден Орденом Трудового Красного Знамени, Орденом «Знак почета», медалями.*



## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

1. Бисенбай Д. – студент Казахского национального университета им. Аль-Фараби; дипломник-практикант АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова». Orcid ID 0000-0001-5542-4183.
2. Витулёва Е.С. – докторант PhD, старший преподаватель кафедры телекоммуникационных сетей и систем Института космической инженерии и телекоммуникаций Алматинского университета энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева. Orcid ID 0000-0002-6075-4870.
3. Матрасулова Д.К. – магистр технических наук, старший специалист в АО «Kcell». Orchid ID 0000-0002-0646-6333.
4. Мун А.С. – член-корреспондент Международной академии информатизации (МАИН). Orcid ID 0000-0002-2176-9906.
5. Мун Г.А. – доктор химических наук, академик Национальной инженерной академии РК, профессор кафедры химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров факультета химии и химической технологии Казахского национального университета им. аль-Фараби. Orcid ID 0000-0001-5522-1255.
6. Нагорный В.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий факультета электроники и информационных технологий Сумского государственного университета, Сумы, Украина. Orcid ID 0000-0001-5223-7219.
7. Сулейменов И.Э. – доктор химических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, профессор Института медийных технологий Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация. Orcid ID 0000-0002-7274-029X.
8. Тен А.Ю. – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химии синтетических и природных лекарственных веществ АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова». Orcid ID 0000-0002-9607-050X.

9. Тұрсынова Б.Ғ. – инженер АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова». Orcid ID 0000-0003-0229-0286.
10. Ю В.К. – доктор химических наук, профессор, и.о. заведующего лабораторией химии синтетических и природных лекарственных веществ АО «Институт химических наук им.А.Б. Бектурова». Orcid ID 0000-0001-6508-707X.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **КОЛОНКА РЕДАКТОРА**

***МУН Г.А., МАТРАСУЛОВА Д.К., ВИТУЛЕВА Е.С., СУЛЕЙМЕНОВ И.Э.***

Что стоит за LGBT-повесткой? ..... 4

### **МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА**

***МУН А.С.***

Адаптивные криптосистемы и асимметричное шифрование RSA ..... 36

***НАГОРНЫЙ В.В.***

Прогнозирование землетрясения на основе представления периода его подготовки, как процесса, развивающегося в режиме с обострением ..... 42

### **ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***МУН Г.А.***

Интерполимерные реакции неионных полимеров и полиакриловой кислотой в водных растворах ..... 59

***ТЕН А.Ю., БИСЕНБАЙ Д., ТҰРСЫНОВА Б.Ғ., Ю В.К.***

Синтез некоторых аминофосфонатов на основе пиримидинилпиперазина ..... 75

### **ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ**

***Ни Л.П. – 100*** ..... 83

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ** ..... 84

## CONTENTS

### **EDITOR COLUMN**

***MUN G.A., MATRASSULOVA D.K., VITULYOVA Ye.S., SULEIMENOV I.E.***

What is behind the LGBT agenda? ..... 4

### **MATHEMATICS AND INFORMATICS**

***MUN A.S.***

Adaptive cryptosystems and asymmetric RSA encryption ..... 36

***NAHORNY V.V.***

Earthquake prediction based on presenting his preparation period as a blue-up process ..... 42

### **CHEMICAL SCIENCES**

***MUN G.A.***

Interpolymer reactions of nonionic polymers with polyacrylic acid in aqueous solutions ..... 59

***TEN A.Yu., BISSENBAY D., TURSINOVA B.G., YU V.K.***

Synthesis of some aminophosphonates based on pyrimidinylpiperazine ..... 75

### **JUBILEE DATE**

***Ni L.P. – 100*** ..... 83

**THE INFORMATION ABOUT AUTHORS** ..... 84

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Журнал «Известия НТО «Кахак» публикует написанные на русском, казахском, английском и корейском языках оригинальные статьи, обзоры. Также Журнал дает информацию, связанную с деятельностью общества.

2. В оригинальных статьях могут рассматриваться результаты как теоретических, так и прикладных НИР.

3. Авторы, желающие опубликовать обзорную статью, должны предварительно согласовать ее тематику, представив аннотацию на 1–2 стр. В обзорах следует освещать темы, представляющие достаточно общий интерес по выбранной тематике или отражающие какой-либо важный аспект применения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и т.д. Допускается обобщение результатов многолетних исследований научных коллективов.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Статья должна начинаться с введения. В нем должны быть даны: содержательная постановка рассматриваемого в статье вопроса, краткие сведения по его истории, отличие предлагаемой задачи от уже известных, или преимущество излагаемого метода по сравнению с существующим. Основная часть статьи должна содержать формулировку задачи и предлагаемый метод ее решения, заключительная часть – краткое обсуждение полученных результатов и, если возможно, пример, иллюстрирующий их эффективность и способы применения.

5. Все статьи проходят именное рецензирование не менее, чем двумя независимыми учеными по соответствующей тематике.

6. Решение о публикации статьи принимает редакционная коллегия Журнала.

7. Требования к этике публикаций: Авторы несут ответственность за достоверность и значимость научных результатов, и актуальность научного содержания работ. Рукописи статей, опубликованных ранее, или переданных в другие издания не принимаются.

8. Авторы могут представить электронную версию своей статьи по адресу: **izv.ntokahak@mail.ru**.

### Требования к оформлению рукописей

Статьи представляются в электронном виде в текстовом редакторе Word 97, формулы набираются с помощью редактора MS Equation 3.0 (2.0) или ChemDraw.

Шрифт Times New Roman 12 pt. Межстрочный интервал 1,15. Поля: верхнее – 2,0 см, нижнее – 2,0 см, левое – 2,0 см, правое – 2,0 см. Абзац – красная строка – 0,5 см.

Текст статьи должен начинаться с указания:

*с левой стороны – индексов МРНТИ и УДК, соответствующих заявленной теме, ниже приводятся:*

через строку указывается **заглавие статьи** (прописными буквами, шрифт – полужирный, выравнивание текста по центру, кегль 14 pt). Название должно максимально полно и точно описывать содержание статьи, включать ключевые слова, отражающие направление и/или основной результат исследования, но в то же время быть коротким и ясным и не содержать сокращений.

- фамилии и инициалы авторов (выравнивание текста по центру, шрифт – полужирный, кегль 12 pt),
- название организации и ее местонахождение,
- e-mail авторов (выравнивание текста по центру, курсив, кегль 12 pt),



- резюме (краткое изложение содержания статьи, дающее представление о теме и структуре текста, а также основных результатах, **7–10 предложений**, (выравнивание текста по центру, курсив, кегль 11 pt),
- ключевые слова, обеспечивающие полное раскрытие содержания статьи (**7–10 слов**) выравнивание текста по ширине, курсив, кегль 11 pt),
- текст статьи (выравнивание текста по ширине, курсив, кегль 12 pt),
- список литературы,
- Ф.И.О. авторов, название статьи, резюме, ключевые слова на трех языках (на казахском, английском и русском).

Рисунки должны быть представлены в отдельном файле.

Статья представляется в *doc* или *docx* формате, а также идентичная копия в *pdf* формате, на электронный адрес журнала, в отдельных файлах дублируются рисунки, таблицы, графики, схемы, а также приводятся сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, служебный адрес, место работы, должность, контактные телефоны, e-mail и Orcid ID).

Ссылки на литературные источники в тексте приводятся после цитаты в квадратных скобках. Библиографический список оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание: общие требования и правила составления».

Компьютерный набор и макетирование Ли У.П.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Курмангазы, 40 (Дом Дружбы), офис 34  
Тел. 8(727)-272-67-74

Подписано в печать 25.03.2023  
Печать трафаретная. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная № 1.  
Тираж 500 экз.

Отпечатано в «Print Express. Издательство и полиграфия»  
Алматы, ул. Байтурсынова, 85  
Тел. 8(727)-292-10-95, 8(727)-292-14-28