

МАТЕРИАЛЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ
АРМЕНИИ

1990

Раньше весь человеческий ум, весь его гений творил только для того, чтобы дать одним все блага техники и культуры, а других лишить самого необходимого—просвещения и развития. Теперь же все чудеса техники, все завоевания культуры станут общенародным достоянием, и отныне никогда человеческий ум и гений не будут обращены в средства насилия, в средства эксплуатации.

В. И. ЛЕНИН

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԼԵՆԻՆՅԱՆ ԿՈՄՈՒՆԻՍՏԱԿԱՆ ԵՐԻՏԱՍԱՐԴԱԿԱՆ
ՄԻՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԻՏՐԱՍՍՐԴ ԳԻՏՆԱԿԱՆՆԵՐԻ ԽՈՐՀՈՒՐԴ

ԵՐԻՏՐԱՍՏՐԳ ԳԻՏՆԱԿԱՆՆԵՐԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏԱԿԱՆ,
ԳԻՏԱՆՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿՈՆՖԵՐԱՆՍԻ

ՆՅՈՒԹԵՐ

(Մայիս, 1966 թ.)

«ԼՈՒՅՍ» ՀՐԱՏԱՐԱԿԶՈՒԹՅՈՒՆ.

6 P 6 4 U. 6 1 9 6 7

ЛЕНИНСКИЙ КОММУНИСТИЧЕСКИЙ СОЮЗ
МОЛОДЕЖИ АРМЕНИИ
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

МАТЕРИАЛЫ

РЕСПУБЛИКАНСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

(Май, 1966 г.)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЛУИС»
ЕРЕВАН 1967



*Печатается по решению ЦК ЛКСМ Армении
и редакционной коллегии Совета молодых ученых
при ЦК ЛКСМ Армении*

ОТ РЕДАКЦИИ

Настоящим сборником, посвященным славному пятидесятилетию Великого Октября, Совет молодых ученых Армении начинает публикацию материалов научно-технических конференций и конкурсных работ молодых научных сотрудников республики.

Мы даем форум беспокойной молодости, вечному поиску, неустанному труду.

Пусть смелая, живая мысль, горячее стремление идти непроторенными путями забьют ключом на страницах наших сборников.

И пусть станут нашим девизом слова великого основателя научного коммунизма Карла Маркса: «В науке нет широкой столбовой дороги и только тот может достичь ее сияющих вершин, кто не страшась усталости карабкается по ее каменистым тропам».

С. К. ПОГОСЯН
Первый секретарь ЦК ЛКСМ Армении

МОЛОДЕЖЬ АРМЕНИИ — В АВАНГАРДЕ КОММУНИСТИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В каждом большом и малом деле прогресса нашей страны достойное место занимает молодое поколение.

При активном участии комсомола республики строятся корпуса промышленных гигантов, благоустраиваются наши города и села, оживают тысячи гектаров засушливых земель. Ныне более 200 тысяч юношей и девушек непосредственно участвуют в деле создания материально-технической базы коммунизма и народных благ. Только в течение последних двух лет по комсомольским путевкам на стройки отправилось 5 тысяч комсомольцев и молодежи, большая часть которых работает на комсомольских ударных стройках. 18 тысяч молодых инженерно-технических работников, рационализаторов и изобретателей успешно решают вопросы технического прогресса в народном хозяйстве. Каждый третий человек республики — учащийся. Каждый второй комсомолец имеет среднее и высшее образование; 87% комсомольцев учатся.

На заботу родной Коммунистической партии и Советского правительства о науке молодые научные сотрудники отвечают конкретными делами.

Ныне в 130 научно-исследовательских учреждениях и вузах республики под руководством видных ученых страны более 2000 молодых научных сотрудников ведут серьезную научно-исследовательскую работу по развитию самых современных областей науки. Здесь необходимо отметить такие области, как математика, счетная и переводная техника, физика твердых тел, радиоэлектроника и астрофизика, геология, хи-

мия, общественные науки и т. д. За годы Советской власти Армения действительно стала республикой развитой культуры и науки, что стало возможным лишь в стране победившего социализма.

XXIII съезд КПСС и XV съезд ВЛКСМ поставили новые и серьезные задачи перед молодыми учеными, и сегодня мы можем сказать, что молодые ученые республики с честью выполняют свои обязательства.

Результаты, полученные в ряде научно-исследовательских институтов, успешно внедряются в производство, что в значительной мере способствует подъему народного хозяйства. Молодое поколение ученых уверенным шагом, бок о бок с учеными старшего поколения, участвует в разработке сложных и ответственных научных проблем, неся с собой молодую энергию, свежесть, задор.

В институте математики и механики АН Армянской ССР под руководством члена-корреспондента АН Армянской ССР А. Талаляна работает большая группа молодых математиков, получившая широкое признание среди математиков нашей страны и за рубежом. В институте начались новые исследовательские работы по конструкционным пластикам и стеклопластиков. Обращают на себя внимание решение новых классов математических задач Андри Нерсисяном, доказательство Норайром Аракеляном теоремы, опровергающей известную гипотезу Р. Неванлинна о количестве дефектов у целых функций конечного порядка, исследования в области аэрогидродинамики Александра Багдоева и многое др.

Сотрудница Бюраканской астрофизической обсерватории, комсомолка Карине Саакян под руководством академика В. А. Амбарцумяна обнаружила в галактике скопление «белых карликов», а группа теоретиков и экспериментаторов добилась серьезных успехов по изучению ядер галактик и звездных ассоциаций.

Достоинны внимания исследования в области радиационной физики, проводимые Академией наук и молодыми учеными Госуниверситета совместно с промышленными предприятиями. Благодаря их работе наша республика поставляет се-

годня всему Союзу генерирующие кристаллы для лазеров, а также производит комплектные лазеры.

Следует отметить ценное исследование ученых-комсомольцев Института геологических наук о влиянии редких и рассеянных элементов в составе руд. Молодые научные сотрудники на основе изучения ареолов рассеянных элементов обнаружили новые поисковые критерии, дали конкретные предложения поисково-разведочным экспедициям. Интересные исследования провели молодые научные сотрудники Борис Меликсетян, Вардан Пароникян, Завен Чибухчян и другие.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии организован недавно, однако молодежь под руководством академика А. Г. Назарова успешно решила проблему моделирования взаимодействия сейсмических явлений на строительные сооружения. В условиях сейсмической зоны Армянского нагорья эти работы имеют особое значение в связи с намечаемым увеличением этажности в городах как нашей республики, так и юга Советского Союза.

В нашей стране и за ее пределами широко известна работа, проводимая Институтом тонкой органической химии Академии наук Армянской ССР. Полученные здесь многие медицинские препараты (ганглерон, дитилин, ципинал и т. д.) и ряд других антибиотиков незаменимы в медицине. Этот Институт можно назвать поистине комсомольско-молодежным коллективом. Здесь химиками и лаборантами работают студенты четвертых и пятых курсов Госуниверситета и Политехнического института. Ряд препаратов, полученный молодыми химиками, ныне проходит клинические испытания по всему Союзу. Подобные поучительные опыты работы молодежи можно привести из областей физики, биологии, сельского хозяйства.

Ленинский комсомол с первого дня своего создания всегда активно содействовал работе молодых ученых. Ныне комсомол республики стремится обеспечить активное участие молодых ученых в решении задач, поставленных перед народным хозяйством, воспитывать их в духе безграничной преданности делу партии, беззаветного служения народу. В научно-исследовательских учреждениях первостепенное значение получает вопрос усовершенствования духа и метода комсомоль-

ской работы. Краеугольным камнем работы, проводимой здесь надо считать своевременное и высококачественное выполнение молодыми учеными научных планов, широкую пропаганду достижений науки и техники, создание для молодых ученых нормальных трудовых и бытовых условий, организацию отдыха. Для целенаправленного ведения этой работы при ЦК ЛКСМ Армении создан Совет молодых ученых.

Задача Совета молодых ученых и комсомольских организаций научно-исследовательских институтов состоит в разработке и стимулировании таких продуктивных видов деятельности, которые воспитывали бы в молодом исследователе особые линии, характерные для ученого нового типа. Сейчас для нас нет более важной задачи, чем воспитание передового ученого нового типа, коммунистического закала, такого ученого, который завтра мог бы творчески смело, инициативно и новаторски решать самые сложные проблемы науки.

Интенсификация научной деятельности, проводимая комсомольской молодежью научно-исследовательских институтов, требует развития личного контакта и взаимодействия исследователей различных профессий. А это станет возможным при широкой и представительной организации научных конференций, симпозиумов, конкурсов на лучшую научно-техническую разработку той или иной проблемы и пр.

В деятельности республиканского Совета молодых ученых большое место занимает организация ежегодных научных конференций в республиканском, закавказском и союзном масштабах по различным областям науки. Таковы «Весенняя школа молодых физиков», организованная Институтами физики и математических машин на Арагаце, «Севанские чтения» лаборатории биофизики, закавказские конференции молодых биологов, геологов и химиков.

Только на смотры «Лучшие работы молодых научных сотрудников научно-исследовательских институтов», организованный в честь XXIII съезда КПСС, было представлено 95 научных работ, из коих авторы 34 ценных научных исследований были награждены, а 16 из них получили поощрения со стороны ЦК комсомола республики. Следует отметить представленные на смотры интересные работы, выполненные кандидатом

физ.-мат. наук сотрудником Института математики и механики Н. Аракеляном, старшим научным сотрудником Института радиофизики и электроники Р. Мартиросяном, старшим научным сотрудником Института физики В. Арутюняном, старшим научным сотрудником Института органической химии Ш. Бадалянном, старшим инженером Института геологии С. Айвазяном, старшим научным сотрудником Института биохимии С. Мовсесяном и др.

Совет молодых ученых республики видит свою благодарную задачу в выявлении талантливых юношей и девушек, которые завтра или послезавтра могут стать замечательными учеными. При помощи олимпиад по физико-математическим наукам производится набор контингента для вечерней физико-математической школы при Ереванском университете, руководимой крупным математиком академиком А. Л. Шагиняном.

В целях дальнейшего развития научной и технической мысли в республике, стимулирования творческого роста молодых ученых и инженеров, ЦК ЛКСМ Армении и Совет молодых ученых решили учредить ежегодные премии имени Ленинского комсомола Армении в области науки и техники. Лицам, удостоенным премии имени Ленинского комсомола, присваивается звание: «Лауреат премии имени Ленинского комсомола Армении», с вручением почетного знака и диплома.

Усовершенствование комсомольской работы в научно-исследовательских учреждениях и активизация деятельности Совета молодых ученых связана с правильным подбором и воспитанием кадров. От каждого члена Совета требуется умение не только правильно вести общественную работу, но и творчески подойти к решению целого ряда диктуемых жизнью задач Совета.

Нужно, чтобы руководители научно-исследовательских учреждений, партийные и комсомольские организации, весь актив оказывали всемерную поддержку Совету молодых ученых в проведении различных мероприятий, смело выдвигали бы кадры молодых ученых на работу в Совете, помогали бы преодолеть замкнутость отдельных научных сотрудников.

Актив Совета должен обновляться в процессе конференций, симпозиумов, семинаров и смотров. Следовательно, чем

больше и чаще будут организовываться подобные мероприятия, тем интенсивнее будет работа Совета. Основная задача научно-исследовательских учреждений и Совета молодых ученых — мобилизовать силы молодых научных сотрудников, чтобы поставить тайны природы на службу общества, активно и эффективно содействовать подъему материального благосостояния нашего народа, построению коммунистического общества в нашей стране.

А. М. ТИМОННИ И ДРЕЛЕРТУ

НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ПОДЪЕМНОСТИ

ГЛАВА I.

МЕХАНИКА

Вопросы подъема и плавучести являются одними из наиболее важных в механике. В настоящей главе мы рассмотрим некоторые теоремы линейной теории подъема и плавучести. В частности, мы рассмотрим теорему о том, что для тела, находящегося в равновесии, сумма моментов внешних сил относительно центра тяжести равна нулю. Мы также рассмотрим теорему о том, что для тела, находящегося в равновесии, сумма внешних сил равна нулю. Эти теоремы являются основными для теории подъема и плавучести.

$$F_z(x, y, z) = \frac{1}{E(t)} (1 - \alpha^2) \{ \alpha(x, y, z, t) - \gamma^2(x, y, z, t) + \alpha(x, y, z, t)(1 + \gamma^2(x, y, z, t)) - (x, y, z, t)^2 \} \quad (1)$$

$$F_z(x, y, z) = \frac{2(1 + \gamma^2)}{E(t)} (1 - \alpha^2) \alpha(x, y, z, t) + \alpha^2(x, y, z, t) \quad (2)$$

$$F_z(t) = \int_0^t \phi(t) E(t) \frac{1}{E(t)} \left[\frac{1}{E(t)} + \alpha(t) \right] dt \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что острота угла наклона к горизонту зависит от времени. В частности, если $\alpha(t) = 0$, то угол наклона равен нулю.

А. М. СИМОНЯН, М. ПРЕДЕЛЯНУ

НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ПОЛЗУЧЕСТИ

Целью нижеприведенных теорем является свести некоторые задачи теории линейной наследственности к задачам теории упругости.

Рассмотрим тело, подвергнутое действию объемных сил (X, Y, Z) и вынужденных деформаций (например, от температуры) $\varepsilon_x^0, \varepsilon_y^0, \dots, \gamma_{yz}^0$ и заданы смешанные краевые условия (здесь мы имеем в виду и такие смешанные условия, когда в некоторых точках поверхности в одном направлении заданы перемещения, а в другом — внешние силы).

Зависимость между деформациями и напряжениями по теории линейной наследственности (с учетом старения материала, но в предположении, что коэффициенты поперечного сжатия для упругости и для ползучести постоянны и совпадают) может быть записана в виде [1]

$$\varepsilon_x(x, y, z, t) = \frac{1}{E(t)} (1 - K^*) \{ \sigma_x(x, y, z, t) - \nu [\sigma_y(x, y, z, t) + \sigma_z(x, y, z, t)] \} + \varepsilon_x^0(x, y, z, t) \quad (x, y, z)^1 \quad (1)$$

$$\gamma_{xy}(x, y, z, t) = \frac{2(1+\nu)}{E(t)} (1 - K^*) \tau_{xy}(x, y, z, t) + \gamma_{xy}^0(x, y, z, t) \quad (x, y, z) \quad (2)$$

где

$$K^* \Phi(t) \equiv \int_{\tau_1}^t \Phi(\tau) E(t) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right] d\tau \quad (3)$$

¹ Символом (x, y, z) указывается, что остальные две зависимости получаются путем циклической перестановки индексов x, y, z .

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \dots, \gamma_{yz}$ — составляющие тензора деформаций, а $\sigma_x, \sigma_y, \dots, \tau_{yz}$ — тензора напряжений, ν — коэффициент Пуассона, $C(t, \tau)$ — мера ползучести, $E(t)$ — модуль Юнга, τ_{11} — возраст материала к моменту приложения нагрузки.

Пусть $H(t, \tau)$ — резольвента ядра

$$E(t) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} C(t, \tau) \right] \text{ и} \\ H^* \Phi(t) \equiv \int_0^t H(t, \tau) \Phi(\tau) d\tau. \quad (4)$$

Теорема 1

Напряженное состояние ползучего тела $(\sigma_x, \dots)$ совпадает с напряженным состоянием упругого тела $(\sigma'_x, \dots)$, если в последнем вынужденные деформации $(\varepsilon_x^0, \dots)$ и перемещения, заданные на краях $(U_x, \dots)$, заменить через $\frac{1}{E(t)} (1 + H^*) [E(t) \varepsilon_x^0], \dots$, и $\frac{1}{E(t)} (1 + H^*) [E(t) U_x], \dots$, при этом

$$u_x = \frac{1}{E(t)} (1 - K^*) [E(t) u'_x] \quad (x, y, z) \quad (\alpha)$$

Напряжения ползучего тела, являющиеся решением поставленной задачи должны удовлетворять дифференциальным уравнениям равновесия

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X = 0 \quad (x, y, z) \quad (5)$$

уравнениям совместности деформаций

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (x, y, z) \quad (6)$$

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (x, y, z) \quad (7)$$

и краевым условиям.

(3) Подставляя уравнения систем (1) и (2) в (6) и (7), получим

$$\frac{1}{E(t)} (1 - K^*) \left\{ \left[\nu \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2} + \nu \left(\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x^2} + \right. \right. \right.$$

$$+ \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial y^2} - 2(1+\nu) \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} \Big] \Big\} = \frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y^0}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}^0}{\partial x \partial y} \quad (x, y, z) \quad (8)$$

$$\frac{2}{E(t)} (1-K^*) \left\{ \frac{\partial^2}{\partial y \partial z} \left[\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z) \right] + (1+\nu) \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial z} \right] \right\} = -2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y \partial z} - \frac{\partial^2 \gamma_{yz}^0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \gamma_{zx}^0}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \gamma_{xy}^0}{\partial x \partial z} \quad (x, y, z) \quad (9)$$

Решения уравнений Вольтерра (8) и (9) можно записать в виде

$$\nu \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2} + \nu \left(\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial y^2} \right) - 2(1+\nu) \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} = (1+H^*) \left[E(t) \left(\frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y^0}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \gamma_{xy}^0}{\partial x \partial y} \right) \right] \quad (x, y, z) \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y \partial z} \left[\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z) \right] + (1+\nu) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial z} \right) = \frac{1}{2} (1+H^*) \left[E(t) \left(-2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x^0}{\partial y \partial z} - \frac{\partial^2 \gamma_{yz}^0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \gamma_{zx}^0}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \gamma_{xy}^0}{\partial x \partial z} \right) \right] \quad (x, y, z) \quad (11)$$

Принимая малую окрестность точки M_0 неподвижной (то есть за начало отсчета перемещений), согласно [2], получим выражения перемещений точек M тела через деформации

$$u(M) = \int_{M_0}^M \left\{ \varepsilon_x dx + \int_{M_0}^M \left[\left(\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial y} dy + \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial z} dz \right) dx + \left(\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial y} - \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial x} \right) dy^2 + \left(\frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial z} - \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial x} \right) dz^2 + \left(\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right) dy dz \right] \right\} \quad (x, y, z) \quad (12)$$

Подставляя сюда (1) и (2), получим

$$R_{1x}(T_\sigma) = (1+H^*)[E(t) u_x] + (1+H^*)[E(t) R_{2x}(T_{\varepsilon^0})], \quad (x, y, z) \quad (13)$$

а для упругого тела при заменах, указанных в условии теоремы, будем иметь

$$R_{1x}(T_{\sigma'}) = E(t) u'_x + (1 + H^*) [E(t) R_{2x}(T_{\varepsilon'})] \quad (x, y, z) \quad (13')$$

где T_{σ} и T_{ε} — тензоры напряжений и вынужденных деформаций, а R_1 и R_2 — линейные операторы по координатам от компонентов указанных аргументов.

Итак, напряжения, являющиеся решением задачи ползучести, должны удовлетворять уравнениям (5), (10), (11) и (13). Легко видеть, что те же требования предъявляются и к напряжениям, являющимися решением упругой задачи при заменах, указанных в условии теоремы. Краевые условия проверяются непосредственно из уравнений (13), если точки M положить находящимися на части поверхности, где заданы перемещения. Отсюда, вследствие единственности решения, получим первую часть утверждения теоремы. Формула же (α) вытекает из сравнения (13) и (13').

Теорема 2.

Перемещения точек ползучего тела совпадают с перемещениями упругого тела, если в последнем объемные силы X, Y, Z и нагрузки, заданные на краях p_x, p_y, p_z , заменить соответственно через $(1 - K^) X, \dots$ и $(1 - K^*) p_x, \dots$; при этом*

$$\sigma_x = (1 + H^*) \sigma'_x \quad (x, y, z) \quad (\beta)$$

$$\tau_{xy} = (1 + H^*) \tau'_{xy} \quad (x, y, z) \quad (\gamma)$$

Доказательство аналогично. Записывая уравнения равновесия в перемещениях в условиях ползучести, получим

$$\begin{aligned} & \frac{E(t)}{1 - \nu - 2\nu^2} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[(1 - \nu) \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \varepsilon_x^0 \right) + \nu \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \varepsilon_y^0 \right) + \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + \nu \left(\frac{\partial w}{\partial z} - \varepsilon_z^0 \right) \right] + \frac{1 - 2\nu}{2} \left[\frac{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - \gamma_{xy}^0 \right)}{\partial y} + \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + \frac{\partial \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} - \gamma_{xz}^0 \right)}{\partial z} \right] \right\} = - (1 - K^*) X \quad (x, y, z) \quad (14) \end{aligned}$$

Запишем соотношения между напряжениями и перемещениями в виде

$$(1 - K^*) \sigma_x = \frac{E(t)}{1 - \nu - 2\nu^2} \left[(1 - \nu) \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \varepsilon_x^0 \right) + \right. \\ \left. + \nu \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \varepsilon_y^0 \right) + \nu \left(\frac{\partial w}{\partial z} - \varepsilon_z^0 \right) \right] \quad (x, y, z) \quad (15)$$

$$(1 - K^*) \tau_{xy} = \frac{E(t)}{2(1 + \nu)} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} - \gamma_{xy}^0 \right) \quad (x, y, z) \quad (16)$$

Эти соотношения применяем к точкам, где заданы нагрузки. Учитывая, что p_x, p_y и p_z линейно выражаются через компоненты T_σ , можно записать

$$(1 - K^*) p_x = R_x(u, v, w, T_{\varepsilon^0}) \quad (x, y, z) \quad (17)$$

где R — линейный оператор по координатам.

Поскольку перемещения должны удовлетворять лишь уравнениям (14), условиям (17) и краевым условиям в перемещениях, в силу единственности решения легко убеждаемся в справедливости первой части утверждения теоремы. Формулы же (3) и (γ) вытекают из (15) и (16).

Теоремы 1 и 2 являются обобщением теорем, приведенных в [4] и [5]. Теорема о независимости напряженного состояния, обусловленного действием внешних сил, от ползучести доказана Н. Х. Арутюняном [1]. Утверждение, адекватное теореме 2, приведенного в работе [8].

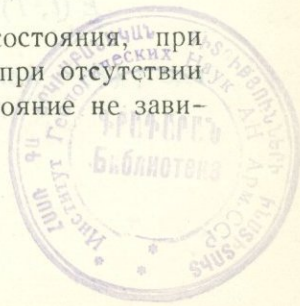
Из теорем 1 и 2 вытекают нижеследующие следствия:
1-е следствие.

В случае, когда тело имеет жесткие закрепления ($U_i = 0$) или не имеет их вообще, а вынужденные деформации отсутствуют, напряженное состояние не зависит от факта ползучести.

2-ое следствие.

В случае плоского деформационного состояния, при задании краевых условий в напряжениях и при отсутствии вынужденных деформаций, напряженное состояние не зависит от факта ползучести.

2-21



3-е следствие.

В случае отсутствия действия внешних сил, при произвольных, не изменяющихся во времени вынужденных деформациях имеет место задача релаксации.

4-е следствие.

В случае отсутствия объемных сил и при однородных краевых условиях в напряжениях, перемещения не зависят от факта ползучести.

Вышеприведенные теоремы и следствия оказываются в силе и для анизотропных материалов с установившимися упругими характеристиками (при этом в условии теоремы 1 $E(t)$ выходит из-под оператора и сокращается).

Действительно, например, по [3] связь между деформациями и напряжениями при линейной анизотропной ползучести по наследственной теории может быть записана в виде

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\partial s}{\partial \sigma_{ij}} - \int_0^t K(t, \tau) \frac{\partial s}{\partial \sigma_{ij}} d\tau + \varepsilon_{ij}^0, \quad (18)$$

где, например, для ортотропного несжимаемого тела [3]

$$s = C_x (\sigma_y - \sigma_z)^2 + C_y (\sigma_z - \sigma_x)^2 + C_z (\sigma_x - \sigma_y)^2 + \\ + 2C_{yz} \tau_{yz}^2 + 2C_{zx} \tau_{zx}^2 + 2C_{xy} \tau_{xy}^2. \quad (19)$$

Отсюда видно, что приведенные теоремы здесь доказываются совершенно аналогично.

Аналогичные результаты более частного порядка приведены в работах [6] и [7].

Можно доказать, что вышеприведенные теоремы остаются в силе и в случае учета зависимости упругих и реологических свойств от температуры, если только можно положить

$$E(t, T) = \frac{E(t)}{\varphi(T)}; \quad C(t, \tau, T) = \varphi(T) C(t, \tau)$$

где $\varphi(T)$ — некоторая функция от температуры.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеориздат. М.—Л. 1952.
2. Кац А. М. Теория упругости. Гостехтеориздат. М. Л. 1956.
3. Малинин Н. И. К теории анизотропной ползучести. ПМТФ. № 3. 1964.
4. Predeleanu M. Stress analysis in bodies with time-dependent properties. Bull. Math. de la Soc. Sci. Math. de la RSR. Tome 9 (57) 1965.
5. Predeleanu M. Sur le probleme thermique des corps aux proprietes rheologiques lineares. Bull. Acad. Polon. sci. Ser. sci. Techn., 1961, 9, № 9.
6. Симомян А. М. О плоской контактной задаче ползучести анизотропных тел. Изв. АН АрмССР. Механика. № 4. 1966.
7. Симомян А. М. О плоской температурной задаче контакта ортотропных тел с учетом ползучести. Изв. АН АрмССР. Механика. № 6. 1966.
8. Харлаб В. Д. Общее решение задачи линейной квазистатической теории ползучести изотропного тела при постоянном коэффициенте Пуассона. Доклады XX научной конференции ЛИСИ. Ленинград. 1962.

ГЛАВА II

ФИЗИКА

В. М. АРУТЮНЯН

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В РЕЗОНАНСНОЙ СРЕДЕ

Точные методы решения задачи об излучении квантов системой резонансных двухуровневых атомов на основе квантовой электродинамики представляют практический интерес, поскольку позволяют выяснить границы применимости различных полуклассических методов решения данной задачи. Указанному вопросу посвящен ряд работ [1, 2], где получены приближенные уравнения квантовой электродинамики. В этих работах получены периодические колебания плотности фотонов в резонансной среде и показано, что, в отличие от результатов, полученных на основе балансовых уравнений, колебания носят коллективный характер. Наряду с пренебрежением релаксационных потерь и подкачкой, в [1, 2] квантово-механическое среднее $\langle nn \rangle$ заменяется произведением средних $\langle n \rangle \langle n \rangle$ (n — оператор числа квантов), в результате чего удается получить замкнутое уравнение для $n(t) = \langle n \rangle$. При этом фактически пренебрегается вкладом недиагональных элементов матрицы оператора n . Представляет интерес получить точные уравнения квантовой электродинамики без указанного приближения.

В настоящей работе показано, что, если написать уравнения не для матричных элементов оператора n , а для соответствующих амплитуд разложения волновой функции по базисным функциям, то для них получается система линейных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Особенно простой вид имеют эти уравнения, когда, либо все атомы возбуждены, либо среда равновесна и имеется некоторое начальное поле из-

лучения. Хотя указанная система точно решается в случае нескольких атомов, однако для произвольного числа атомов нам не удалось найти точные решения. Если считать в первом случае распределение по числу фотонов не дискретным, а непрерывным, и переходить от соответствующих разностных уравнений к дифференциальному уравнению в частных производных, то можно получить результаты, близкие к соответствующим результатам [1], хотя в нашем случае формулы математически имеют более простой вид. Численные решения на вычислительной машине показывают, что указанное приближение не совсем правильное и колебания плотности фотонов носят чисто квантовый характер. Если же все атомы находятся на нижнем уровне, а начальное поле слабое (сильное), то наши вычисления подтверждают результаты [2].

Рассмотрим модельную задачу об излучении N идентичных двухуровневых атомов без учета подкачки и релаксационных потерь. Считая матричный элемент перехода одинаковым для всех атомов, гамильтониан системы запишем в виде

$$H = \frac{\omega_0}{2} \left(\sum_j \sigma_z^{(j)} + 2 \sum_{\vec{k}, \lambda} c_{\vec{k}, \lambda}^+ c_{\vec{k}, \lambda} \right) + \sum_{\vec{k}, \lambda} H_{\vec{k}, \lambda}, \quad (1)$$

где

$$H_{\vec{k}, \lambda} = (\omega_{\vec{k}} - \omega_0) c_{\vec{k}, \lambda}^+ c_{\vec{k}, \lambda} + \beta_{\vec{k}, \lambda}^+ c_{\vec{k}, \lambda} \sum_j \sigma_+^{(j)} e^{i \vec{k} \cdot \vec{x}_j} + \beta_{\vec{k}, \lambda} c_{\vec{k}, \lambda}^+ \sum_j \sigma_-^{(j)} e^{-i \vec{k} \cdot \vec{x}_j}.$$

Здесь ω_0 — разность энергии верхнего и нижнего уровня изолированной молекулы, $c_{\vec{k}, \lambda}^+$ и $c_{\vec{k}, \lambda}$ — операторы излучения и поглощения фотона с импульсом $\vec{k}$ и поляризацией λ , $\vec{x}_j$ — координата центра тяжести j -ой молекулы, $\beta_{\vec{k}, \lambda}$ — матричный элемент перехода с верхнего уровня на нижний с излучением $\vec{k}$, λ — фотона, $\sigma_{z, \pm}$ — матрицы Паули.

При вычислении среднего числа фотонов данной моды

$$n_{\vec{k}\lambda}(t) = \langle e^{iH} c_{\vec{k}\lambda}^+ c_{\vec{k}\lambda} e^{-iH} \rangle \quad (2)$$

мы можем опустить в H первую слагаемую, поскольку этот оператор коммутирует как с оператором $\Sigma_{\vec{k}\lambda} H_{\vec{k}\lambda}$, так и с опе-

ратором числа фотонов $c_{\vec{k}\lambda}^+ c_{\vec{k}\lambda}$. (Заметим, что в формуле

(2) усреднение производится по начальному состоянию системы). Для простоты в дальнейшем мы ограничимся упрощенной задачей, когда в резонаторе имеет место лишь один какой-либо тип колебаний, а атомы все находятся либо на верхнем, либо на нижнем уровнях. В этом частном случае полная волновая функция системы из N — атомов и поля излучения данной моды $\vec{k}, \lambda$ удовлетворяет уравнению Шредингера

$$i \frac{\partial}{\partial t} \psi_{\vec{k}\lambda}(t) = H_{\vec{k}\lambda} \psi_{\vec{k}\lambda}(t), \quad \psi_{\vec{k}\lambda}(0) = \psi\left(\frac{N}{2}, \pm \frac{N}{2}\right) \psi_T. \quad (3)$$

Здесь $\psi(j, m)$ — волновая функция момента j с проекцией m , ψ_T — волновая функция системы фотонов в представлении вторичного квантования, а знаки $\pm$ относятся к случаям, когда атомы все на верхнем и на нижнем уровнях соответственно. Совершая преобразование

$$\psi \rightarrow \exp\left(\frac{i\vec{k}}{2} \sum_j \vec{x}_j \sigma_3^{(j)}\right) \psi$$

над волновой функцией, приведем гамильтониан к виду

$$H = (\omega - \omega_0) c^+ c + \beta^* c J_+ + \beta c^+ J_-, \quad (4)$$

где $J_{\pm}$ — известные операторы углового момента. При таком преобразовании волновая функция начального состояния с учетом (3) получает некоторый фазовый сдвиг, что несущественно при вычислении среднего числа фотонов $n(t)$. (Для краткости мы везде в дальнейшем опускаем индексы $\vec{k}, \lambda$). Поскольку гамильтониан (4) коммутирует с оператором квадрата полного момента, то величина полного момента $(N/2)$ сохраняется. В результате процессов из-

лучения и поглощения меняется только проекция момента и в частности, при излучении одного фотона проекция момента уменьшается, а при поглощении — увеличивается на единицу.

Рассмотрим сначала случай, когда все атомы находятся на верхнем уровне, а квантов нет. Удобно представить волновую функцию в виде суперпозиции базисных функций

$$\psi(t) = \sum_{n=0}^N (\beta/\beta^*)^{n/2} a_n(t) \psi\left(\frac{N}{2}, \frac{N}{2} - n\right) \frac{(c^+)^n}{\sqrt{n!}} \Phi_0, \quad (5)$$

где Φ_0 — волновая функция фотонного вакуума. Легко видеть при этом, что $|a_n(t)|^2$ соответствует вероятности обнаружить систему в состоянии с n квантами с перенаселенностью $N - 2n$, а среднее число фотонов, согласно (2), определяется формулой

$$\bar{n}(t) = \sum_{n=0}^N n |a_n(t)|^2 \quad (6)$$

Чтобы получить уравнения для величин $a_n(t)$ необходимо подставить разложение (5) в (3) и воспользоваться гамильтонианом (4). Тогда нетрудно получить следующую систему уравнений

$$i \frac{da_n}{dx} = n(\omega - \omega_0) \tau_0 a_n + \frac{1}{2\sqrt{N}} (n\sqrt{N+1-n} a_{n-1} - \\ + (n+1)\sqrt{N-n} a_{n+1}) \quad (7)$$

где $x = t/\tau_0$, $\tau_0^{-1} = 2|\beta|\sqrt{N}$, а начальные условия, согласно (5), имеют вид $a_n(0) = \delta_{n0}$.

Система (7) описывает точные квантовые колебания числа фотонов в резонансной среде. Она обладает тем преимуществом, что эта система не операторное, а линейное уравнение с постоянными коэффициентами. Однако такая простая ситуация имеет место только в приближении одной моды и в случае, когда атомы все находятся либо на верхнем, либо на нижнем уровнях. Если только часть атомов возбуждена, то можно применить указанную технику, предварительно сложив „спины“ атомов на верхнем и на нижнем уровнях

отдельно. Хотя уравнения для амплитуд не очень усложняются, однако число переменных при этом увеличивается.

Система (7) имеет $N + 1$ чисто мнимых характеристических корней, нахождение которых в общем случае произвольных N весьма затруднительно. Для малых N (несколько атомов) всегда можно эту систему решить точно. Например, в случае точного резонанса ($\omega = \omega_0$)

$$n(t) = \sin^2 t/2\tau_0, \text{ при } N=1, \\ n(t) = \frac{1}{3} \sin^2 \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{t}{\tau_0} + \frac{4}{9} \left(1 - \cos \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{t}{\tau_0} \right)^2, \text{ при } N=2. \quad (8)$$

В этих частных случаях число фотонов периодическая функция от времени и имеет максимальное значение $n_{\max} = 1$ и 1, 78 при $N=1$ и 2 соответственно. Начиная с $N=3$ $n(t)$ перестает быть периодической функцией от времени, а минимальное и максимальное значения $n(t)$ отличны от нуля и N соответственно.

Чтобы получить уравнение прямо для среднего числа фотонов, запишем систему (7) в матричном виде

$$i \frac{da}{dx} = \{(\omega - \omega_0) \tau_0 l + \frac{1}{2\sqrt{N}}(A + B)\} a \equiv Ha, \\ l_{nk} = n\delta_{nk}, A_{nk} = n\sqrt{N+1-n}\delta_{n-1,k}, B = A^+ \quad (9)$$

и введем гейзенберговскую матрицу

$$L(x) = e^{ixH} l e^{-ixH} \quad (10)$$

$L_{00}(x)$ элемент которой соответствует среднему числу фотонов $n(t)$. Непосредственное дифференцирование показывает, что матрица $L(x)$ удовлетворяет следующему нелинейному уравнению

$$L''(x) + \frac{3}{2N} L^2(x) + \left[-1 + \frac{1}{2N} + (\omega - \omega_0)^2 \tau_0^2 \right] L(x) = \\ = \frac{1}{2} + (\omega - \omega_0) \tau_0 H \quad (11)$$

с начальными условиями

$$L(0) = l$$

$$L'(0) = -\frac{i}{2\sqrt{N}}(A - B). \quad (12)$$

Если пренебречь недиагональными элементами матрицы $L(x)$, то тогда для $n(t)$ получается нелинейное уравнение, приведенное в работе [1]. Как показано в указанной работе, $n(t)$ выражается через эллиптические интегралы и периодическую функцию с минимальным и максимальным значениями ноль и N соответственно. Аналогичное, но более простое решение можно получить следующим методом. Заменим разностно-дифференциальное уравнение (7) дифференциальным уравнением в частных производных первого порядка для функции $a(x, n)$, считая, что n пробегает непрерывный ряд значений. Нетрудно убедиться, что такая замена справедлива для больших N и при значениях n не очень близких к N . Если же, однако, распространить указанную процедуру на всевозможные значения n и учесть δ -образность начального значения функции $a(x, n)$, то можно показать, что $n(t)$ периодическая функция с периодом $T = 2\tau_0 \ln 8N$, а значения $n(t)$ для моментов времени $0 \leq t \leq T/2$ определяются из уравнения

$$\left(1 + \frac{3}{2N}\right) \frac{t}{\tau_0} - \frac{1}{\sqrt{N}} \operatorname{arctg} 2\sqrt{N-n} - \\ - \sqrt{1 + \frac{1}{2N}} \ln \frac{\sqrt{N+1/2} - \sqrt{N-n}}{\sqrt{N+1/2} + \sqrt{N-n}} = \frac{t}{2\tau_0}. \quad (13)$$

Как правило, вклад второго члена левой части этого уравнения ничтожно мал, и среднее число фотонов, как это следует из формулы, сначала по экспоненте растет, достигая максимального значения $n_{\max} = N$ при $t = T/2$ и экспоненциально затем уменьшается до значения $n = 0$ при $t = T$. Как диагонализированное уравнение для $L_{00}(x)$, так и приближение (13) соответствуют пренебрежению недиагональными элементами матрицы $L(x)$. Однако в данной задаче указанное приближение не совсем корректное, что следует из следующих соображений. В случае точного резонанса уравнение (11) эквивалентно следующему интегральному уравнению:

$$L(x) = \frac{1}{2\lambda^2} (\operatorname{ch} \lambda x - 1) + l \operatorname{ch} \lambda x - \frac{i}{2\sqrt{N}} (A - B) \operatorname{sh} \lambda x - \\ - \frac{3}{2\lambda N} \int_0^x \operatorname{sh} \lambda (x - y) L^2(y) dy, \quad (14)$$

где $\lambda^2 = 1 - 1/2N$. Это уравнение в принципе можно решить последовательными приближениями. В первом приближении для числа квантов можно получить известный результат [1]

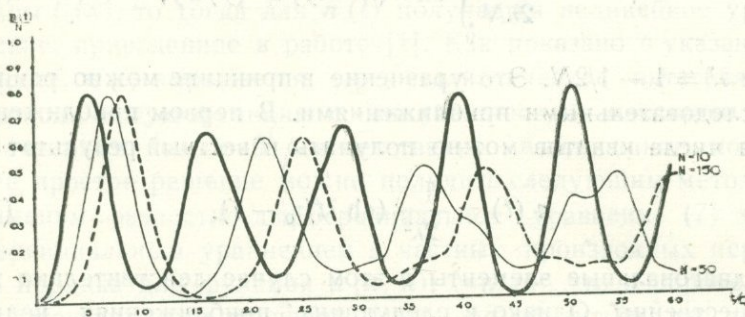
$$n(t) = \frac{1}{2\lambda^2} (\operatorname{ch} \lambda t/\tau_0 - 1). \quad (15)$$

Недиагональные элементы в этом случае действительно не существенны. Однако в следующих приближениях недиагональные элементы дают вклад такого же порядка, что и диагональные элементы. Например, для моментов времени $\exp(\lambda t/\tau_0) \gg 1$ число фотонов с учетом следующего приближения определяется формулой (для $N \gg 1$)

$$n(t) = \frac{1}{4} \exp(t/\tau_0) \left[1 - \frac{1}{4N} \exp(t/\tau_0) \right], \quad (16)$$

причем, вклад диагональных и недиагональных элементов во втором приближении точно один и тот же. Для иллюстрации того факта, что недиагональные элементы весьма существенные и колебания плотности фотонов в данном случае носят чисто квантовый характер, для значений $N = 10, 50, 150$ в случае точного резонанса, система (7) решалась на электронно-вычислительной машине. Численные результаты приведены на фиг. 1. Видно, что колебания плотности фотонов носят нерегулярный характер, причем нерегулярности усиливаются с увеличением N . Значение $n_{\max} = N$ не достигается никогда, а зачастую пикки имеют высоту, равную лишь $N/2$. Можно в принципе предположить, что с увеличением N установится режим регулярных колебаний, полученный в [1, 2]. Однако система (7) при $\omega = \omega_0$ содержит лишь один параметр N . Поэтому, если имеется асимптотический режим колебаний, указанный в [1, 2], то он может наступить при значениях $N \gg 1$, так что асимптотические значения $n_{\max}$ и периода колебаний при значениях $N = 50$ и 150 скорее всего

должны были быть достигнуты. Таким образом, квантовый характер начальных условий запоминается системой во все последующие моменты времени.



Фиг. 1,

Рассмотрим теперь случай, когда все атомы в начальный момент находятся на нижнем уровне и в резонаторе имеются n_0 квантов данной моды $\vec{k}, \lambda$, причем $n_0 \ll N$. Разложение $\psi(t)$ по базисным функциям в этом случае имеет вид

$$\psi(t) = \sum_{n=0}^{n_0} a_n(t) \psi\left(\frac{N}{2}, -\frac{N}{2} - n + n_0\right) \frac{(c^+)^n}{\sqrt{n!}} \Phi_0. \quad (17)$$

причем амплитуды $a_n(t)$ удовлетворяют системе следующих уравнений

$$i \frac{da_n}{dt} = n(\omega - \omega_0) a_n + \beta^* \sqrt{(n+1)(n_0 - n)(N+1 - n_0 + n)} a_{n+1} + \beta \sqrt{n(n_0 - n + 1)(N - n_0 + n)} a_{n-1}, \quad a_n(0) = \delta_{nn_0}. \quad (18)$$

Пренебрегая под квадратными корнями n_0 и n по сравнению с N и введя обозначение

$$a_n(t) = \sqrt{\frac{(n_0)!}{n! (n_0 - n)!}} \left(\frac{\beta}{\beta^*}\right)^{\frac{n - n_0}{2}} A_n(t), \quad (19)$$

мы приходим к уравнению

$$2i \frac{dA_n}{dx} = 2n(\omega - \omega_0) \tau_0 A_n + (n_0 - n) A_{n+1} + n A_{n-1}, \quad (20)$$

$$A_n(0) = \delta_{nn_0}.$$

В данном случае коэффициенты системы линейные функции от n и система допускает следующее точное решение

$$A_n(x) = (-1)^{n_0-n} e^{\frac{i}{2} n_0 p_2 x} \left(\frac{p_1 e^{\frac{i}{2}(p_1-p_2)x} - p_2}{p_1 - p_2} \right)^{n_0} \times \quad (21)$$

$$\times \left(\frac{1 - e^{\frac{i}{2}(p_1-p_2)x}}{p_2 - p_1 e^{\frac{i}{2}(p_1-p_2)x}} \right)^{n_0-n},$$

где $p_{1,2} = -(\omega - \omega_0) \tau_0 \pm \sqrt{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau_0^2}$. Легко теперь просуммировать ряд для $n(t)$ и получить известный [2] результат

$$n(t) = n_0 \left(1 - \frac{1}{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau_0^2} \sin^2 \frac{t}{2\tau_0} \sqrt{1 + (\omega - \omega_0)^2 \tau_0^2} \right). \quad (22)$$

Аналогично можно рассмотреть случай сильного начального поля ($n_0 \gg N$) и получить результат, соответствующий [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. И., Вдовин Ю. А., Галицкий В. М. ЖЭТФ, **46**, 320, 1964.
2. Алексеев А. И., Галицкий В. М. ЖЭТФ, **47**, 1893, 1964.

А. Р. ТУМАНЯН

ПИТАНИЕ ДАТЧИКОВ ХОЛЛА ИМПУЛЬСНЫМ ТОКОМ

В последнее время разработано множество измерителей магнитных полей, использующих эффект Холла [1]. Однако при питании датчиков эдс Холла постоянным током чувствительность их по напряжению не высокая, порядка $K = 10 \div 50$ мкВ/эрс и ограничивается максимальной мощностью рассеивания датчика, что в свою очередь зависит от его геометрических размеров.

Для увеличения вольтовой чувствительности датчика, с целью измерения малых магнитных полей, приходится соединять датчики в батареи, либо увеличивать размеры датчиков, либо прибегать к большому усилению сигнала [2, 3]. Другая возможность увеличения чувствительности датчика Холла это—питание его импульсным током. При питании датчиков импульсным током прямоугольной формы со скважностью Q , импульсная мощность рассеивания может быть увеличена в Q раз, а амплитуда питающего тока, следовательно, $\sqrt{Q}$ раз, без нарушения теплового режима датчиков. Но чувствительность датчиков Холла по напряжению прямо пропорциональна амплитуде питающего тока, поэтому в импульсном режиме она возрастает также в $\sqrt{Q}$ раз. Импульсный режим питания датчиков Холла дает также возможность измерять мгновенное значение магнитного поля, т. е. производить динамические измерения магнитных полей.

Исследовались практические возможности максимального увеличения вольтовой чувствительности датчиков Холла, за счет неограниченного увеличения скважности им-

пульсного тока питающего датчик. Для исследований использовались датчики Холла из кристалла германия n -типа, размерами от $3 \times 5 \times 0,5$ мм до $2,7 \times 2 \times 0,3$ мм. Чувствительность их при постоянном токе питания от 20 ма до 7 ма была от 22 мкв/эрс до 8 мкв/эрс.

Исследование производилось при питании датчиков Холла импульсным током длительностями в диапазоне от 0,1 мксек до 100 мсек и частотой повторения от 200 гц до одиночных импульсов.

Основная трудность, при питании датчиков Холла импульсным током—это компенсация неэквипотенциальности холловского напряжения, которая имеет большую частотную зависимость от питающего тока и нестабильность. При больших длительностях импульсов $\tau > 0,1$ мсек питающего датчик компенсировать неэквипотенциальность выходного напряжения удастся практически достаточно простыми способами, в основном, при помощи корректирующих цепочек. При этом удобнее вначале компенсировать неэквипотенциальность холловского напряжения при питании датчика постоянным током, затем вводить частотную компенсацию. Однако при питании датчиков Холла импульсным током прямоугольной формы, вследствие несимметрии емкостно-индуктивной нагрузки в выходном напряжении имеется паразитная эдс в виде выбросов, сопровождающихся колебательным процессом, и расположенных вблизи переднего и заднего фронтов импульса тока. Величина и форма этих выбросов, в основном, зависит от времени нарастания и спада импульса тока. Для уменьшения амплитуды этих выбросов требуется применение дополнительных корректирующих устройств и специальных усилителей. Из-за этих выбросов применение импульсов прямоугольной формы с большой крутизной фронтов и длительностью менее $\tau < 10$ мксек для питания датчиков Холла становится практически достаточно затруднительным. Наличие этих выбросов и высокочастотных колебательных процессов вблизи фронтов импульса тока отражается на тепловом режиме датчика и поэтому при расчете максимальной амплитуды питающего тока приходится брать несколько заниженное ее

значение ($10 \div 30\%$ в зависимости от скважности и ширины импульса).

Удобнее использовать для питания датчиков Холла импульсы с малой крутизной фронтов, с формой импульса, приближающегося к треугольной или колоколообразной форме. Использование таких импульсов для питания датчиков Холла по сравнению с питанием импульсами прямоугольной формы имеет следующие преимущества:

а) величина выбросов и высокочастотных колебательных процессов в выходном напряжении датчика значительно уменьшаются и легко компенсируются;

б) из-за незначительности величин выбросов и колебательных процессов величину максимальной амплитуды питающего тока можно брать намного близкой к расчетной $\Delta < 10\%$ (при расчете амплитуды импульса питающего тока берется энергетическая длительность импульсов);

в) длительность вершины импульса треугольной формы можно взять малой $\tau \leq 1$ мксек, что дает возможность более точной привязки к мгновенному значению магнитного поля, т. е. увеличивается возможность более точных динамических измерений магнитных полей с большим временным градиентом.

Питание датчиков $\mathcal{E}_{\text{дс}}$ Холла импульсным током длительностью менее $\tau < -2$ мксек практически становится нецелесообразным, ибо при таких длительностях импульсов нарушается пропорциональное скважности увеличение импульсной мощности проходящей через датчик, следовательно и соответствующее увеличение чувствительности датчика. При таких импульсах тока, питающего датчик, зависимость вольтовой чувствительности от скважности приобретает резко нелинейный характер и имеет приблизительно следующий вид: $K \cong \sqrt[3]{Q} - \lg Q$ это эмпирическая зависимость и от дальнейшего уменьшения длительности импульса она меняется. В основном, при малых длительностях импульсов питающих датчик, начинает сказываться поверхностный эффект, приводящий к неравномерному разогреву датчика, который в свою очередь приводит к увеличению неэквивалентности холловского напряжения, к изменению

R — постоянной Холла, к изменению сопротивления датчика и т. д. Кроме того, при больших токах, питающих датчик, начинает заметно сказываться и эффект магнитосопротивления. Питание датчиков Холла импульсным током малых длительностей удорожат аппаратуру, ибо усложняется аппаратура для получения стабильных во времени и по амплитуде кратковременных импульсов.

Увеличение скважности импульсов, питающих датчик, за счет уменьшения частоты повторения импульсов вплоть до одиночных импульсов приводит к усложнению возможности точного измерения и осциллографического наблюдения амплитуды выходного импульса.

Длительность и амплитуда одиночных импульсов ограничивается временем установления теплового режима датчика и амплитудой разрушающего тока. Наиболее целесообразный диапазон скважностей импульсного тока для питания датчиков Холла оказался $Q=4000 \div 50$. При питании датчиков импульсами больших длительностей, порядка десятков *мсек*, удобно использовать генератор, работающий на принципе коммутирования стабилизированного постоянного тока, с дальнейшим формированием формы импульса. Использовать импульсное питание датчиков Холла целесообразно при измерении малых постоянных полей, порядка $0,1 \text{ э} — 1000 \text{ эд.}$, особенно для измерения флуктуации магнитного поля, а также при измерениях динамики полей, со скоростями изменения поля порядка $1000 \div 10000 \text{ э/сек}$. Точность таких измерений, в основном, зависит от точности измерения амплитуды выходных импульсов и стабильности амплитуды импульсов питающих датчик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иоффе А. Ф. Физика полупроводников. Изд. АН СССР, 1957.
2. Богомолос В. М. Устройство с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. М. Л. ГЭИ, 1961.
3. Савенко В. Г. Применение эффекта Холла в технике связи. Связьиздат, 1963.

ГЛАВА III

Г Л А В А III

ЭЛЕКТРОНИКА

Г. Г. БАХШЯН

О ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ ИЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК

Для измерения интенсивности получаемых на ускорителях электронных пучков в настоящее время широко пользуются вторичным эмиссионным монитором (ВЭМ).

Принцип действия ВЭМ-а состоит в следующем. При прохождении заряженной частицы через некоторую фольгу существует определенная вероятность того, что электрическое поле этой частицы вырвет с поверхности фольги электроны. Очевидно, что эта вероятность будет зависеть от ионизирующей способности пролетающей частицы [1], [2].

Основной частью ВЭМ-а являются две системы очень тонких ($\approx 10^{-3}$ см) параллельных алюминиевых фольг. Фольги одной системы чередуются с фольгами другой. Пучок проходит перпендикулярно этим фольгам. Все устройство помещается в вакуум порядка 10^{-6} тор. На одну систему подается высокое напряжение, другая служит коллектором заряда.

Так как ВЭМ не является абсолютным прибором, то он градуируется с помощью цилиндра Фарадея.

Для регистрации числа вторичных электронов к поверхности фольги необходимо приложить некоторую разность потенциалов. Эта разность потенциалов ΔV , в свою очередь, оказывает влияние на вероятность выхода вторичных электронов.

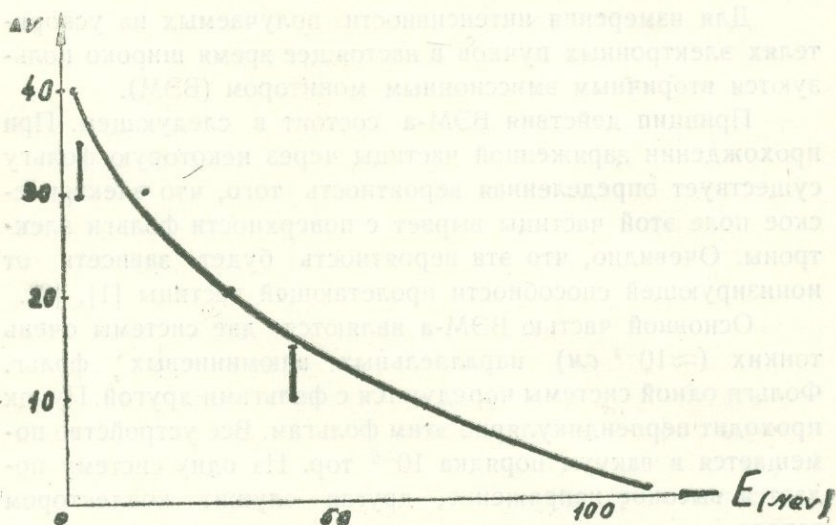
Эта вероятность будет зависеть также и от энергии первичных частиц E , если создать условия, при которых ионизационные потери будут идти без эффекта плотности [3].

Таким образом, в этом случае вероятность выхода вторичных частиц будет зависеть как от ΔV , так и от E . Если

задаться определенным коэффициентом вторичной эмиссии $\sigma = J_{\text{втор.}}/J_{\text{перв.}}$, то тогда должна наблюдаться определенная связь между ΔV и E , причем в качестве параметров войдут геометрия фольги и ее структура.

Сопоставляя семейство кривых, дающих зависимость между σ и ΔV при различных E , приведенных в работах [4, 6—9]*, нетрудно заметить, что для одного и того же σ имеется связь между ΔV и E .

На фиг. 1 приведена эта зависимость для $\sigma = \sigma_1$, где



Фиг. 1.

σ_1 — максимальное значение коэффициента вторичной эмиссии, приведенное в работе Окаве [6]. Отклонения от плавной кривой вызваны различной толщиной ($\approx 10^{-3}$ см) и структурой поверхностного слоя фольги.

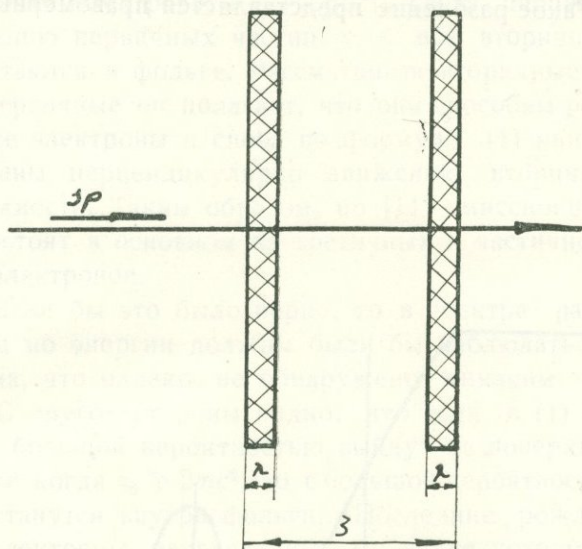
Попробуем описать теоретически полученную закономерность с помощью следующей упрощенной картины явления.

В смысле эмиссии вторичных электронов целесообраз-

* В других работах [10—13] зависимость между σ и ΔV не приводится.

но разбить всю толщину фольги на две различные области. Одну, состоящую из двух поверхностных слоев (с одной и другой стороны фольги) с толщиной порядка длины свободного пробега электрона каждая, и другую область — глубинную, фиг. 2.

Первичная частица, пролетая через всю толщину фоль-

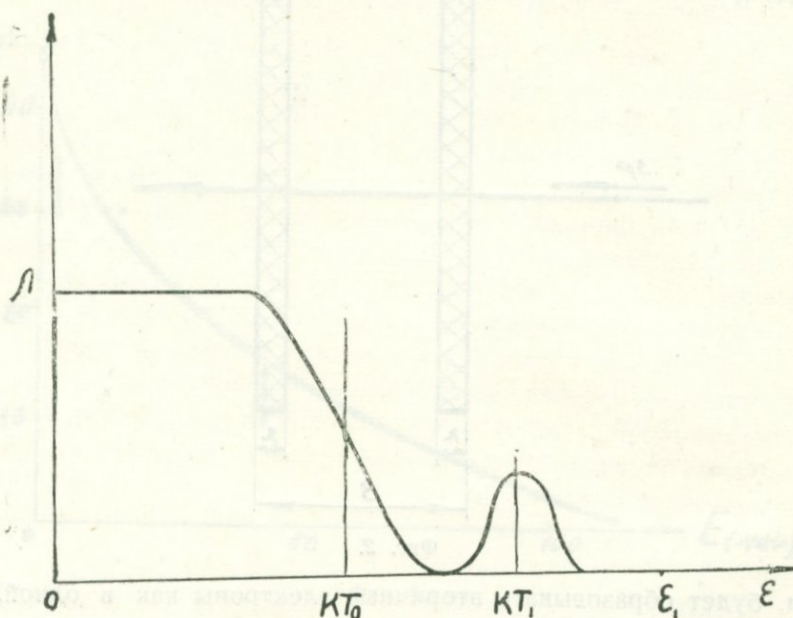


Фиг. 2.

ги, будет образовывать вторичные электроны как в одной, так и в другой области.

Однако вторичные электроны, образованные в глубинной области, не смогут участвовать в эмиссионном токе, так как они обязательно претерпят хоть одно столкновение до выхода на поверхность, отдав при этом столкновении всю полученную от первичной частицы кинетическую энергию атома решетки. Вторичные же электроны, образованные в поверхностных слоях, будут обладать некоторой вероятностью выхода на поверхность, если их энергия превзойдет работу выхода электронов из металла и направление их импульса будет таково, что они выйдут на поверхность фольги, не претерпев столкновения с атомами решетки.

Электронный газ в поверхностных слоях с точки зрения вторичной эмиссии можно рассматривать состоящим из двух компонентов: одной обычной или холодной, характеризующейся средней температурой T_0 и другой — необычной или горячей, характеризующейся средней температурой T_1 и возникающей благодаря потерям энергии первичных частиц (фиг. 3). Такое разбиение представляется правомерным, так



Фиг. 3.

как время жизни вторичных электронов или время свободного пробега со средней температурой T_1 такого же порядка или больше времени, необходимого для выхода этих электронов на поверхность.

Средняя температура T_1 и распределение по энергии (импульса) горячего электронного газа по некоторому закону будет функцией от энергии первичных частиц (фиг. 3).

Насколько нам известно, число эмиссионных электронов различными способами и упрощенно вычислили Пауффест [9] и Ванусе [11]. В основе расчетов [11] лежит та идея, что первичные частицы, проникая в тонкую фольгу

рождают вторичные электроны, направленные движения которых, согласно формуле (1):

$$\cos \alpha = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 (E + mc^2)}{E (\varepsilon_0 + mc^2)}}, \quad (1)$$

где α — угол между направлениями движения первичных и вторичных электронов, ε_0 — энергия вторичных электронов, m — масса электрона, c — скорость света, перпендикулярная движению первичных частиц, т. е. все вторичные электроны остаются в фольге. Рассматривая вторичные электроны как первичные он полагает, что они способны рождать третичные электроны и снова по формуле (1) они будут направлены перпендикулярно движению вторичных, т. е. к поверхности. Таким образом, по [11] эмиссионные электроны состоят в основном из третичных и частично из вторичных электронов.

Если бы это было верно, то в спектре распределения частиц по энергии должны были бы наблюдаться два максимума, что однако, не обнаружено никаким экспериментом. С другой стороны видно, что если в (1) $\varepsilon_0 \gg 2me^2$, то они с большой вероятностью выйдут на поверхность, в случае же когда $\varepsilon_0 \gg 2mc^2$, то с большой вероятностью электроны останутся внутри фольги. Последние рожают третичные электроны, направленные движения которых по отношению к движению первичных должны определяться следующими формулами:

$$\cos \beta = \sqrt{\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_0}}, \quad (2)$$

где ε_T — кинетическая энергия третичных электронов,

β — угол между направлениями движения вторичных и третичных электронов. Формула (1) здесь не верна, так как вторичные электроны, оставшиеся в фольге, уже не релятивистские.

Из (2) следует, что те третичные электроны, которые имеют сравнительно большую энергию, останутся в фольге, а имеющие малую энергию — продвинутся к поверхности фольги. Однако, из-за малости кинетической энергии последних вероятность их выхода на поверхность мала.

Следовательно, эмиссионные электроны будут в основном состоять из вторичных электронов, имеющих сравнительно большую кинетическую энергию; если энергия первичных частиц $E \rightarrow \infty$ то $\alpha \rightarrow \frac{\pi}{2}$. Как вытекает из фор-

мулы (1), чтобы вышеуказанное было правильно, должно $\epsilon_0 \rightarrow 0$. Другими словами, те вторичные электроны, которые имеют направление $\perp$ к направлению первичного пучка, приобретают нулевую энергию.

Однако, из-за малости кинетической энергии последних вероятность создания третичных электронов или в конечном счете вероятность их выхода на поверхность будет мала.

Следовательно, эмиссионные электроны будут в основном состоять из вторичных электронов, имеющих сравнительно большую кинетическую энергию.

Паульфест [9] считает, что эмиссионные электроны состоят в основном из вторичных электронов и направлены к поверхности фольги.

Если принять методику расчета T . [9], за исключением того момента, где он принимает, что эмиссионные электроны состоят также из вторичных электронов, рожденных в глубинной части фольги, то для больших E число вторичных электронов, которые могут выйти на поверхностный слой, можно представить следующим образом;

$$П = П_b \left(1 + e^{-\frac{\xi}{\chi}} \right), \quad (2)$$

где $П_b$ — число вторичных электронов, член в скобке представляет собой вероятность того, что вторичные электроны, которые рождались из всей толщины фольги, выйдут на поверхностный слой. χ — длина свободного пробега электронов в фольге, ξ — толщина фольги,

$$П_b = \frac{\delta N z}{A} \cdot \frac{2\pi e^4}{M c^2} \cdot \frac{1}{\beta^2} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{E} \right), \quad (2a)$$

δ — некоторая постоянная, N — число Авогадро; z и A соответственно атомный номер и вес вещества фольги, e за-

ряд электрона; $\beta = \frac{v}{c}$, где c — скорость первичных частиц;

T_u — энергия ионизации вещества.

Так как эти электроны имеют некоторое распределение по энергии (импульсу), то они выйдут на поверхность (в качестве эмиссионных электронов) с некоторой вероятностью.

Число эмиссионных электронов можно представить в следующем виде:

$$\Pi_3 = \Pi (1 - W), \quad (3)$$

где W — вероятность того, что вторичные электроны с данной энергией (импульсом) не покинут фольгу.

Известно [14], что

$$W = \left(\frac{1}{2\pi m k T_1} \right)^{\frac{3}{2}} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^{P_1} e^{-\frac{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}{2m k T_1}} dp_x dp_y dp_z, \quad (4)$$

где k — постоянная Больцмана; P_1 — импульс соответствующей энергии выхода электрона.

Поскольку $P_z = P \cos \alpha$, то интегрируя (4) и подставляя в (3), получим число эмиссионных электронов, обусловленное горячим электронным газом.

$$\Pi_3 = \Pi \left\{ 1 - \frac{1}{V\pi} \sqrt{\frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1}} \sum_{R=0}^{\infty} \frac{(-1)^R \left(\frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1} \right)^R}{R! (2R+1)}; \right. \\ \left. \text{когда } \frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1} < 1 \right. \quad (5a)$$

$$\frac{1}{V\pi} \frac{e^{-\frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1}}}{\sqrt{\frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1}}} \sum_{R=0}^{\infty} \frac{(-1)^R 2R!}{R! 2^{2R} \left(\frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1} \right)^R}; \\ \left. \text{когда } \frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1} > 1 \right\} \quad (5b)$$

$$\text{где } \varepsilon_1 = \frac{P_1^2}{2m}.$$

Более интересно обсудить случай (5а), где для одной и той же n , необходимо чтобы:

$$\frac{\varepsilon_1 \cos^2 \alpha}{k T_1} = A = \text{const}, \quad (6)$$

где A — постоянная, зависящая только от n .

Объясним смысл (6).

Как известно из закона Шотки [15], при приложении на поверхность фольги некоторой разности потенциалов ΔV , работа выхода электронов с вещества ε_1 уменьшается на $\Delta \varepsilon_1$.

$$\varepsilon_1 = \varepsilon'_1 - e \sqrt{e \alpha_1 \Delta V}, \quad (7)$$

где ε'_1 — работа выхода электронов вещества при отсутствии внешнего поля; α_1 — постоянная, зависящая от геометрии электродов.

Известно также [16], что угол между траекторией первичных и вторичных частиц в зависимости от их энергии дается следующим образом:

$$\text{tg } \alpha = \sqrt{\frac{2mc^2}{E + mc^2} \cdot \frac{E - \varepsilon_0 - mc^2}{\varepsilon_0}} \quad (8)$$

Не трудно заметить, что средняя температура T_1 горячих электронов, нагретых вследствие бомбардировки первичного пучка, можно представить в следующем виде:

$$T_1 = \left(T_0 + \frac{2}{3} \frac{\varepsilon_n}{k} \right), \quad (9)$$

где ε_n — энергия, обусловленная ионизационными потерями первичных электронов и переданная холодными электронами, часть из которых превращается в горячий электронный газ.

Учитывая вышеуказанные условия, (6) преобразуется так:

$$\Delta V = \frac{1}{e^3 \alpha_1} \left[\varepsilon'_1 - \frac{AE (\varepsilon_0 - 2mc^2) \left(k T_0 + \frac{2}{3} \varepsilon_0 \right)}{\varepsilon_0 (E + 2mc^2)} \right] \quad (10)$$

В частности, если взять ξ — порядка χ , т. е. эксперимент проводить в условиях, обеспечивающих отсутствие

эффекта плотности, то становится возможным отождествить ε_0 и ε_n , и, таким образом, регистрируя ΔV для одного и того же $P_{об}$, из формулы (10) можно определить полные ионизационные потери ε_n первичных частиц.

Поскольку для различных типов фольг теоретически рассчитаны ε_n ионизационные потери, зависящие от энергии первичных частиц [3], то, подставляя эти выражения в (10), получим однозначную связь между ΔV и E .

Полученные теоретические зависимости между ΔV и E количественно совпадают с результатом эксперимента, приведенного на рис. 2.

Как видно из рис. 2, измерение энергии первичных частиц с помощью ΔV для частиц, имеющих энергию выше 100 мэв, представляется практически невозможным, поскольку ΔV , стремясь к нулю при больших E , становится фактически независимым от E .

Этого можно избежать, если пользоваться такими фольгами и таким режимом работы ВЭМ-а, которые приводят к появлению Молтер [17] или подобных других [18] эффектов аномальной эмиссии.

Действительно, отметим другую закономерность, наблюдаемую на зависимости коэффициента вторичной эмиссии σ от разности потенциалов ΔV в эксперименте, приведенном на ВЭМ-ах следующими авторами [4—13].

Авторы [4, 6, 7, 8, 9], не сумевшие зарегистрировать с помощью ВЭМ-а энергию первичных частиц, работали с нормальной $\sigma - \Delta V$ характеристикой и рабочая точка была выбрана в области насыщения.

Авторы же [5, 10, 12], сумевшие зарегистрировать энергию первичных частиц, работали с $\sigma - \Delta V$ характеристиками, имеющими максимум, обусловленный, по-видимому, Молтер-эффектом [6].

В Молтер-эффекте или вообще в аномальной эмиссии коэффициент вторичной электронной эмиссии зависит от энергетического распределения вторичных электронов [18], с другой стороны, поскольку в поверхностных слоях (порядка длины свободного пробега) фольг-вэм-ов в ионизационных потерях должен отсутствовать эффект плотности, то

энергетические распределения вторичных электронов в них будет логарифмически зависеть от энергии первичных частиц.

Следовательно, при наличии Молтер-эффекта или в режиме аномальной эмиссии σ будет логарифмически зависеть от энергии первичных частиц.

Автор выражает искреннюю благодарность член-корр. АН Армянской ССР Г. М. Гарибяну за руководство и помощь в работе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фишер и Шерф. Приборы для научных исследований 5, 1964.
2. Nature of Matter. Ed. Luke C. h. Juan, 1965.
3. Г. М. Гарибян. ЖЭТФ, 37, 1959.
Г. М. Гарибян. ДАН АрмССР, 1, 1965.
4. S. Okabe, T. Tabata and Sto, The Review of Scientific. instruments, vol. 32, № 12, 1961.
5. V. J. Vanhuysse. et al. Nuclear instruments and methods, vol 15, № 1, 1962.
6. S. Okabe and at al. Nuclear instruments and methods, vol 26. № 2, 1964.
7. S. J. Taimuty, and at al. The Review of scientific instruments. vol 32, № 10.
8. И. Гришаев, и др. Укр. физ. журнал т. 8, № 9, 1963.
9. G. W. Tautfes and H. R. Fecher. The Review of scientific instruments, vol 26, № 2, 1955.
10. F. A. Bumiler and E. B. Dally. Proc. Intern. Conference on instrumentation in High-Energy Physics. Berkeley, 1960.
11. V. S. Vanhyse and et al. Nuclear instruments and methods, vol 15, № 1, 1962.
12. W. C. Barber and W. R. Doge. См. статью [11].
13. E. B. Dally. Electron-Electron scattering at 509 mev (Thesis), Stanford University, 1960.
14. Левич. Курс теоретической физики т. 1, 1962.
15. Schottky. Phys. zs. 15, 872 1915.
16. С. В. Стародубцев, А. М. Романов. Прохождение заряженных частиц через вещество, 1962.
17. А. Н. Добрецов. Электронная и ионная эмиссия, 1952.
18. В. В. Зернов, Н. Л. Яснопольский. Радиотехника и электроника 9, 11, 1964,

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ПРЯМОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

ГЛАВА IV

АВТОМАТИКА

Для исследования устойчивости в нелинейных системах прямого регулирования необходимо перейти от дифференциального уравнения нелинейного характеристического уравнения. В этом случае не изучается амплитуда колебаний степени и не может быть, в общем случае, разрешено в радикалах. В этом случае приходится использовать методы признака, позволяющие определить устойчивость устойчивого процесса переходного процесса в системе без решения характеристического уравнения. Обычно устойчивость систем определяют с помощью критерия устойчивости Вина-Бриллиево, Гурвица и Рауса. Наиболее широко применяется последний критерий Рауса. Однако он не применим для нелинейных случаев, в которых в критерий Рауса не позволяет судить об устойчивости системы.

В данной работе рассматриваются некоторые вопросы исследования корней характеристического уравнения нелинейных систем прямого регулирования и методы определения устойчивости в двух вышеупомянутых случаях.

Пусть уравнение свободной системы имеет вид:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = 0, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, \dots, a_n$ — постоянные коэффициенты.

Подставив $y = e^{st}$ получаем выражения:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) e^{st} = 0$$

Полученное выражение равно нулю только в случае

Р. Г. АКОПЯН

НЕКОТОРЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ПРЯМОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для определения устойчивости в линейных системах прямого регулирования необходимо перейти от дифференциального уравнения системы к составлению характеристического уравнения, которое в некоторых случаях получается выше четвертой степени и не может быть, в общем случае, разрешено в радикалах. В этом случае возникает необходимость найти признаки, позволяющие определить условия устойчивого протекания переходных процессов в системе без решения характеристического уравнения. Обычно устойчивость системы определяют с помощью критериев устойчивости Вишнеградского, Гурвица и Рауса. Наиболее широкое применение получил критерий Рауса. Однако существуют два исключительных случая, в которых и критерий Рауса не позволяет судить об устойчивости системы.

В данной работе рассматриваются некоторые вопросы исследования корней характеристического уравнения линейных систем прямого регулирования и методы определения устойчивости в двух вышеупомянутых случаях.

Пусть уравнение свободного движения имеет вид:

$$a_0 \frac{d^n y}{dx^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dx} + a_n y = 0, \quad (1)$$

где $a_0, a_1, \dots, a_n$ — постоянные коэффициенты.

Подставкой $y = e^{rx}$ получаем выражение:

$$(a_0 r^n + a_1 r^{n-1} + a_2 r^{n-2} + \dots + a_{n-1} r + a_n) e^{rx}.$$

Полученное выражение равно нулю только в случае:

$$a_0 r^n + a_1 r^{n-1} + a_2 r^{n-2} + \dots + a_{n-1} r + a_n = 0. \quad (2)$$

Это и есть характеристическое уравнение дифференциального уравнения (1).

Если все корни $r_1, r_2, \dots, r_n$ характеристического уравнения различны, то общее решение дифференциального уравнения (1) можно написать в следующем виде:

$$y = c_1 e^{r_1 x} + c_2 e^{r_2 x} + \dots + c_n e^{r_n x}, \quad (3)$$

где $c_1, c_2, \dots, c_n$ — постоянные интегрирования, зависящие от начальных условий.

Если все коэффициенты характеристического уравнения (2) положительны и справедливы неравенства

$$a_0 a_3 < a_1 a_2;$$

$$a_0 a_3^2 + a_1^2 a_4 < a_1 a_2 a_3 + a_0 a_1 a_5,$$

то характеристическое уравнение не имеет корней с положительными вещественными частями и система будет устойчивой. Корни характеристического уравнения могут быть вещественными положительными, отрицательными или нулевыми, а также комплексными числами. В последнем случае корни будут попарно сопряженными, поскольку все коэффициенты исходного уравнения являются вещественными числами.

Перейдем к рассмотрению двух исключительных случаев, для которых критерий Рауса не позволяет судить об устойчивости системы. Первый исключительный случай имеет место, если первый элемент какой-нибудь строки коэффициентов критерия Рауса равен нулю, а другие элементы этой строки не все равны нулю. Тогда следующую строку выписать не удастся, так как ее элементы обращаются в бесконечность. Составим уравнение, корни которого будут обратными величинами корней исходного уравнения. Это можно сделать, подставляя u^{-1} вместо r и, избавляясь далее от отрицательных степеней u . Новое уравнение с неизвестной u будет иметь коэффициенты исходного уравне-

ния, но взятые в обратном порядке. Можно воспользоваться следующими обстоятельствами:

1. Обратная величина корня является числом, которое имеет вещественную часть такого же знака, как и вещественная часть корня.

2. Обратная величина мнимого корня также является мнимым числом.

Второй исключительный случай возникает тогда, когда все коэффициенты второй или любой следующей строки критерия Рауса равны нулю. Если такое условие имеет место, то существуют корни равной кратности, которые лежат на прямых, проходящих через начало координат и расположены на равных расстояниях по обе стороны от начала. Построение таблицы коэффициентов производится в следующем порядке: вместо нулей в соответствующую строку записываются коэффициенты производной некоторого вспомогательного многочлена, коэффициентами которого служат элементы строки, предшествующей строке нулей. В этом вспомогательном многочлене встречаются только четные степени r , причем наибольшая степень r равна элементу, указанному слева в строке, предшествующей строке нулей. Все корни уравнения, образованного приравниванием вспомогательного многочлена нулю, являются корнями исходного уравнения. Они получаются парными, причем корни каждой пары равны по величине и противоположны по знаку. Число перемен знаков в первом столбце таблицы коэффициентов дает число корней с положительными вещественными частями. Остальные корни будут иметь отрицательные или нулевые вещественные части. Если корни с нулевыми вещественными частями существуют, то они окажутся среди корней вспомогательного многочлена. Рассмотрим пример.

Пусть характеристическое уравнение имеет вид:

$$k^5 + 3k^4 + 3k^3 + 9k^2 - 4k - 12 = 0.$$

Составим таблицу коэффициентов

$$\begin{array}{l|l} k^5 & 1 \quad 3 \quad -4 \\ k^4 & 1 \quad 3 \quad -4 \end{array}$$

(после деления на 3)

Видно, что элементы третьей строки обращаются в нуль. Наличие двух идентичных строк в таблице коэффициентов указывает на существование корней, равных по абсолютной величине, но лежащих в диаметрально противоположных точках. Вспомогательный многочлен $k^4 + 3k^2 - 4$ образуется из коэффициентов второй строки. Третья строка образуется из коэффициентов производной этого многочлена (деленных на 4) и далее таблица строится в обычном порядке. Таким образом, получаем третью и последующие строки таблицы.

$$\begin{array}{l|ll} k^3 & 1 & 1,5 \\ k^2 & 1,5 & -4 \\ k^1 & 4,17 & \\ k_0 & -4 & \end{array}$$

В первом столбце встречается одна переменная знака, что указывает на наличие одного корня с положительной вещественной частью. Остальные корни имеют либо отрицательные, либо нулевые вещественные части. Если корни с нулевыми вещественными частями существуют, то они окажутся в числе корней вспомогательного уравнения

$$k^4 + 3k^2 - 4 = 0.$$

Это уравнение имеет четыре корня ± 1 и $\pm j \cdot 2$, которые являются вместе с тем корнями исходного уравнения.

Выводы

Рассмотренный метод заключается в составлении вспомогательного многочлена, коэффициенты производной которого позволяют составить таблицу критерия Рауса. Этот метод расширяет область применения критерия Рауса при рассмотрении вопроса об устойчивости систем автоматического регулирования.

ХИМИЯ

Л. А. МКРТЧЯН

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУБЕЛОГО СТЕКЛА НА ОСНОВЕ ГОРНЫХ ПОРОД АРМЕНИИ

За годы Советской власти в Армении наряду с другими отраслями промышленности выросла и развилась мощная пищевая промышленность, особенно винно-коньячная и консервная. Достаточно отметить, что продукция этих двух отраслей в стоимостном выражении составляет около 50% всей продукции пищевой промышленности, а удельный вес пищевой промышленности в общем объеме всей продукции республики составляет 35%.

В республике имеются все возможности для увеличения производства как винно-коньячных, так и консервных изделий.

В соответствии с планом развития народного хозяйства Армянской ССР в 1962—1980 гг. предусматривается бурное развитие всех отраслей народного хозяйства республики, в том числе и пищевой промышленности. Общую выработку плодоовощных консервов намечается увеличить в целом по республике в следующих количествах (млн условных банок): в 1970 г. 243,5, а в дальнейшем—500,0 (против 86,4 в 1960 г.). Из приведенных данных видно, что уже в 1970 г. выработка консервов по сравнению с 1960 г. увеличивается почти в 3 раза, а в дальнейшем—в 6,2 раза.

В настоящее время в республике производится лишь бутылочная тара из темнозеленого стекла на базе кварцевых песков Армении.

В 1963 г. в Армянскую ССР было завезено из других экономических районов Советского Союза около 100 млн штук полубелой стеклотары, что привело к значительному

повышению себестоимости продукции. Банки приходится перевозить по железной дороге на расстояние около 1000—1300 км, при этом грузоподъемность железнодорожных вагонов используется не более, чем на 30—35%. Действующие в настоящее время заводы консервной стеклотары в Закавказье (Кутаисский, Бакинский) не могут обеспечить потребности пищевой промышленности закавказских республик.

Увеличение выработки продовольственных товаров требует строительства в республике предприятий по производству стеклянной тары из полубелого стекла, что, в свою очередь, будет содействовать развитию пищевой промышленности. Кроме того, строительство стеклотарного завода в Армянской ССР существенным образом повлияет на баланс потребности в таре всех закавказских республик.

Завод по производству белой и полубелой стеклотары для нужд пищевой промышленности строится в гор. Октемберяне Армянской ССР. Завод будет использовать сырьевые материалы из других экономических районов Советского Союза (в основном Дагестанская АССР).

Если для некоторых видов стекол (светотехническое, электровакуумное) применение привозного кварцевого песка можно считать допустимым, то в производстве тарного стекла это настолько удорожает себестоимость стеклотары, что зачастую делает его экономически невыгодным.

Действующие в настоящее время в Армянской ССР заводы по производству стеклотары (полулитровые и литровые бутылки из темнозеленого стекла) работали на пемзовом песке Эларского месторождения, а сейчас используют джаберские перлитовые пески, что подтверждает возможность производства стеклотары в республике на базе дешевого местного сырья—горных пород.

В ЕрНИИХИМИИ уже несколько лет ведутся исследовательские работы по применению горных пород Армении в стекольной промышленности. Они показали, что многие высококремнеземистые горные породы республики могут с успехом применяться в производстве темнозеленых бутылок. В их число входят лусаванские перлиты, джер-

мукские и араратские кварциты, ланджахпюрские кварц-пемзовые пески и т. д.

Если сырьевую базу для производства темнозеленого стекла можно считать обеспеченной, то подбор сырья для производства полубелого и белого стекол связан с определенными трудностями.

В таблице 1 приведены составы некоторых высококремнеземистых горных пород республики. Из таблицы видно, что все породы, за исключением некоторых кварцитов, имеют сравнительно высокое содержание окиси железа. Минимальное содержание окиси железа в пемзоперлитовых породах составляет 0,6%, а среднее содержание по месторождению или по отдельным участкам выше и достигает до 0,8%.

Это приводит к увеличению светопоглощения стекла, сваренного на базе пемзо-перлитов, и придает стеклу зеленоватую окраску, что препятствует использованию такого стекла для выработки полубелых банок.

Применение кварцитов для варки полубелого стекла связано с некоторыми затруднениями следующего характера: для уменьшения перехода железа из измельчающих агрегатов требуется либо предварительная термическая обработка кварцитов, либо ведение процесса измельчения в специальных агрегатах большой мощности; как в первом, так и во втором случае для снижения себестоимости требуется организация мощного производства кварцитового песка.

Разработка составов полубелого стекла на основе перлитового песка

Отсутствие месторождений кварцевых песков на территории Армении вынуждает изыскивать возможности применения в производстве различных стекол новых силикатных материалов, которыми столь богата Армянская ССР (кварциты, перлиты, пемзовые пески, граниты и т. д.).

Большинство горных пород республики содержит от 12 до 16% окиси алюминия и от 0,2 до 2% окиси железа.

Применение горных пород в стекловарении решает за-

Таблица 1

Наименование пород и месторождений	О к и с л ы, %									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	ппп	вл.
1. Кварцит джермукский (белая разновидность) . . .	95,48	0,81	1,81	0,25	0,29	—	—	—	0,16	0,16
2. Кварцит джермукский (розовая разновидность) . .	89,25	0,65	7,81	0,45	0,31	—	—	—	0,30	0,26
3. Кварцит эртический (белая разновидность)	96,2	1,32	0,44	0,56	—	—	—	—	0,63	0,29
4. Кварцит эртический (коричневая разновидность) .	95,68	1,05	1,18	0,31	—	—	—	—	1,09	1,09
5. Кварцит араратский	80,63	—	2,72	0,21	5,92	3,69	—	—	6,71	0,64
6. Пемзовый песок эларский	70,47	14,43	1,73	1,75	—	—	7,63	—	1,79	2,48
7. Пемзовый песок ланджапюрский	72,2	0,19	13,83	1,34	0,91	—	7,61	—	1,68	1,31
8. Перлит лусаванский	71,35	15,14	1,59	1,24	—	—	3,48	4,11	1,37	2,2
9. Перлит артеининский	74,23	0,13	13,41	0,59	1,48	—	8,25	—	3,94	3,94
10. Перлит арагацский	74,0	12,60	0,63	0,88	—	—	5,54	—	6,35	6,35
11. Лейкократовые граниты анкаванские	78,08	0,33	12,65	0,8	0,82	—	6,40	—	0,92	0,92

дачи экономии дорогостоящих щелочных окислов и повышения физико-химических показателей стекла.

Как показал опыт работы некоторых заводов Советского Союза, Чехословакии, Англии и США, выработку высокоглиноземистых стекол можно производить как вакуумными, так и фидерными машинами. Так, на Арзнинском стеклотарном заводе в качестве основного кремнеземсодержащего компонента применяются перлитовые пески Армении. Стекла, в которых содержится 10—11% окиси алюминия, вырабатывают вакуумными машинами в виде полулитровых бутылок. На Краснодарском стеклотарном заводе используется нефелиновый концентрат, в Чехословакии применяется фонолит.

Для выявления оптимального состава полубелого стекла на базе горных пород Армении нами была исследована пятикомпонентная система $\text{Ca} - \text{Mg} - \text{Al} - \text{Si} - \text{R}_2\text{O}$,

Основным кремнеземсодержащим компонентом были выбраны перлитовые пески Артенийского месторождения, в которых содержание окислов алюминия и железа ниже, чем в других кремнеземсодержащих породах республики (табл. 1). Утвержденные запасы этих пород практически неисчерпаемы. Содержание щелочных окислов в них больше 8%. Сырье находится недалеко от завода-потребителя.

Так как в полубелом стекле содержание окислов железа ограничивается 0,5% (по литературным данным), а содержание окиси алюминия в перлитах доходит до 15%, мы были вынуждены применять комбинированную шихту, то есть вводить часть SiO_2 в виде кварцитового песка или кварцита (для уменьшения количества окислов железа и алюминия).

Нами получена серия стекол, в которых от 3 до 10,5% окиси кремния замещено окисью алюминия. За счет перлитового песка вводится также некоторое количество окиси калия.

В табл. 2 приведены расчетные составы изученных стекол. Стекла были сварены в лабораторных печах, в шамотных тиглях емкостью 2 л. Варка проводилась при температуре 1440—1450°C.

Таблица 2

№ стекол	О к с л ы, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O
3	70,93	3,0	0,119	6,86	2,94	16,00
4	70,09	3,84	0,156	6,89	2,94	16,00
5	68,92	4,87	0,202	6,92	2,94	16,03
6	68,08	5,90	0,24	6,93	2,95	16,00
7	67,01	6,85	0,28	6,97	2,94	16,01
8	66,11	7,97	0,338	7,00	2,94	16,0
9	64,90	9,07	0,38	7,04	2,93	16,01
10,5	63,59	10,50	0,449	7,08	2,93	15,99

Физико-химическое исследование стекол

1. Вязкость стекол.

Наиболее важным при разработке стекол новых составов и наиболее сложным для изучения является вопрос о зависимости поведения стекломассы от ее вязкости. Нельзя выбрать тот или иной состав стекла для производства без знания его вязкости.

Величина вязкости оказывает исключительно большое влияние на процессы стеклообразования, осветления и гомогенизации стекломассы, она лимитирует способ и режим выработки.

В основном нами изучались вязкостно-температурные характеристики в области пластического состояния в интервале температур размягчения (500—700°). Вязкость стекол изучена известным методом растяжения стеклянной нити.

Определение вязкости в приведенном интервале температур имеет важное технологическое значение для процессов моллировки, спекания и обжига стекла.

Как известно вязкость стекла зависит от его химического состава. К окислам, повышающим вязкость стекла, относятся SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂. В изучаемых нами составах имеет место замещение двуокиси кремния окисью алюминия.

Известно, что увеличение содержания окиси алюминия в стекле ведет к повышению его вязкости, незначительному при высоких температурах и весьма заметному при низких.

Состав шихт

Сырьевые материалы в вес. част.	3	4	5	6	7	8	9	10,5
Перлит артезийский (АрмССР)	15,95	23,899	31,94	39,79	47,19	55,80	64,36	75,39
Кварцевый песок авдеевский	59,79	53,00	45,75	39,09	32,52	25,25	17,67	8,18
Доломит босинский (Даг. АССР)	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40	14,40
Известняк араратский (АрмССР)	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20
Сульфат натрия	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93	3,93
Сода техническая	22,51	21,50	21,51	19,45	18,51	17,38	16,25	14,84

Как показано Ким-Ын-Саном [1], замена окиси кремния окисью алюминия (до 5%) сопровождается повышением температуры, соответствующей данной вязкости стекла, причем, это повышение линейно зависит от количества внесенной окиси алюминия.

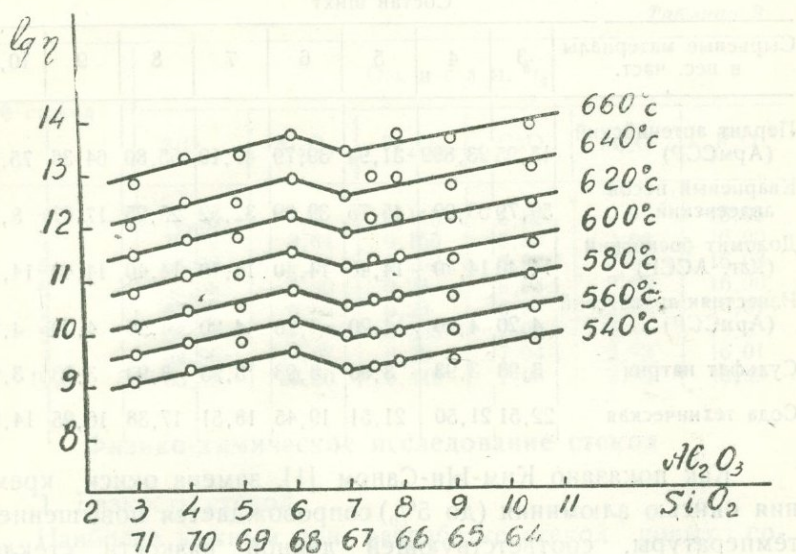
Нами показано, что в области пластического состояния замена двуокиси кремния на окись алюминия (до 6%), приводит к значительному повышению вязкости.

В пределах 7—8% наблюдается некоторое падение вязкости—перелом. Дальнейшее увеличение окиси алюминия до 10,5% приводит и незначительному повышению вязкости.

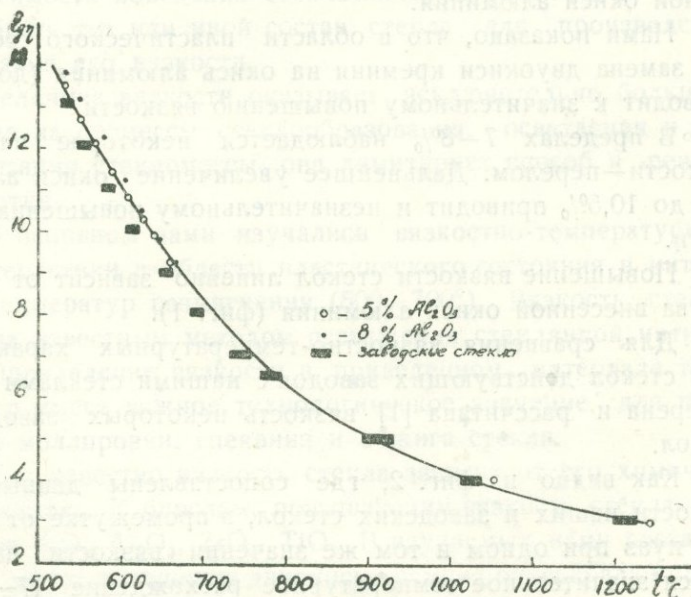
Повышение вязкости стекол линейно зависит от количества внесенной окиси алюминия (фиг. 1).

Для сравнения вязкостно-температурных характеристик стекол действующих заводов с нашими стеклами была измерена и рассчитана [1] вязкость некоторых заводских стекол.

Как видно из фиг. 2, где сопоставлены данные по вязкости наших и заводских стекол, в промежутке от 10^8 — 10^{14} пуаз при одном и том же значении вязкости наблюдается значительное температурное расхождение (7—30°), в промежутке от 10^8 — 10^3 пуаз расхождение уменьшается (4—16°C).



Фиг. 1. Зависимость вязкости стекол от содержания Al_2O_3 в стекле,



Фиг. 2. Зависимость вязкости некоторых стекол от температуры.

Это подтверждает тот факт, что увеличение содержания в стекле окиси алюминия при высоких температурах ведет к незначительному повышению вязкости, а при низких—к весьма значительному.

Химическая стойкость стекол

2. Химическая устойчивость всех стекол по отношению к воде определялась методом порошка Государственным Институтом стекла. Результаты исследования показали, что увеличение содержания окиси алюминия за счет двуокиси кремния с 3 до 10,5% повышает химическую стойкость стекла.

В интервале содержания окиси алюминия от 6 до 8% наблюдается некоторое падение этого показателя.

Дальнейшая замена двуокиси кремния на окись алюминия повышает химическую устойчивость.

Изменение химической устойчивости стекла при замене двуокиси кремния на окись алюминия показано на фиг. 3 (кр. 1).

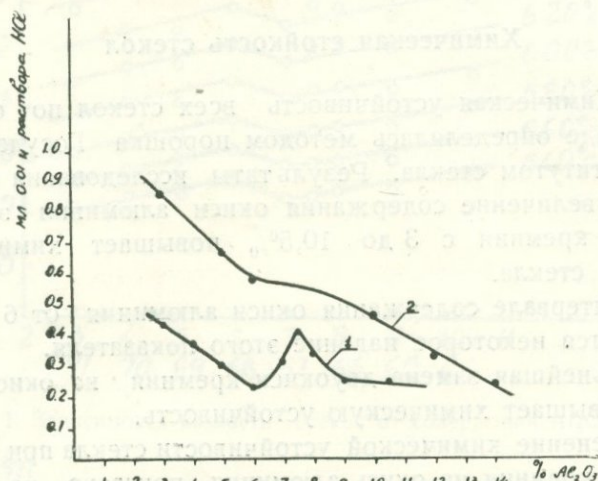
В литературе имеются некоторые данные о состоянии окиси алюминия в природных силикатах и влиянии этого фактора на химическую стойкость алюмосиликатных стекол в водных растворах кислот.

Известно, что алюминий в природных силикатах находится в четверной либо шестерной координации по отношению к ионам кислорода, являясь в первом случае структурным аналогом кремния, во втором—магния [2].

Соболев [3] утверждает, что алюминий в четверной координации является слабым звеном в структуре силикатов. В своих опытах по воздействию растворов кислот на хлориды Бриндлей и Юэлл [4] приходят к выводу, что алюминий в четверной координации более прочно удерживается в структуре. Таким образом, в литературе высказываются противоречивые мнения относительно влияния изменения координации алюминия.

Дуброво в своих работах [5] о влиянии содержания окисей кремния и алюминия в составе силикатов натрия на

их разрушаемость в кислотах сообщает, что даже в тех случаях, когда координация алюминия, по-видимому не изменена, кислотоустойчивость зависит, главным образом, от соотношения кремнезема окиси алюминия.



Фиг. 3. Зависимость химической устойчивости стекла от содержания в нем Al_2O_3 .

К такому же выводу пришли Липа, Горака и Шарпа [6], которые определяли химическую устойчивость кальциево-натриево-алюмосиликатных стекол по отношению к 0,5 н раствору соляной кислоты.

В литературе имеются данные об изменении химической устойчивости стекол при замене в исходном стекле двуокиси кремния на окись алюминия и окиси натрия на окись калия в системах, аналогичных изучаемой нами.

Колдаев и Фатеева в своей работе [7] изучали химическую стойкость пятикомпонентной ($Ca-Mg-Al-Si-R_2O$) системы при замене в исходном стекле ($SiO_2-73,0\%$; $Al_2O_3-3,0$; $CaO-7,0$; $MgO-2,5$; $Na_2O-14,5$) двуокиси кремния на окись алюминия с 3 до 14%. На основании результатов опытов авторы пришли к выводу, что эта замена повышает химическую устойчивость стекла в 3,5 раза.

Результаты замены двуокиси кремния на окись алюми-

ния с 7 до 9% авторами не указаны (фиг. 3 кр. 2). Как видно из фиг. 3, расхождения между нашими данными и данными, предлагаемыми авторами, весьма значительны. Это, по всей вероятности, обусловлено разницей в химическом составе этих стекол (особенно в содержании SiO_2 и R_2O). Теми же авторами показано, что при замене окиси калия от 0 до 4,5% выщелачиваемость исходного стекла уменьшается на 60%.

Химическая стойкость всех стекол авторами определялась методом порошка Института стекла.

Судя по результатам проведенных нами работ по определению химической стойкости стекол по отношению к воде, можно сказать, что замещение двуокиси кремния на окись алюминия приводит к повышению этого показателя в определенном соотношении этих компонентов.

При замещении от 3 до 10,5% двуокиси кремния на окись алюминия химическая устойчивость повышается. В интервале замещения от 6 до 8% наблюдается некоторое снижение ее.

Изучаемые нами составы стекол содержат определенное количество окиси калия, которая вводится за счет перлитового песка. Таким образом, в составах наших стекол имеет место также замена окиси натрия окисью калия от 0,8 до 3,5%. Как показали наши опыты, такая замена приводит к значительному повышению химической стойкости стекол, что хорошо согласуется с данными Колдаева и Фатеевой.

Таким образом, на химическую стойкость в изучаемых нами стеклах одновременно влияют два фактора: замена окиси кремния окисью алюминия и окиси натрия—окисью калия.

3. Кристаллизационная способность стекол

Изучение кристаллизационной способности стекла имеет важное технологическое значение. Чем меньше выражена способность стекломассы к кристаллизации при продолжи-

тельном пребывании в стекловаренной печи, тем выше качественные показатели стекла.

Существенное значение в практике стекловарения имеют верхний и нижний пределы температуры кристаллизации стекла.

Если температура выработки стекломассы совпадает с верхней границей температуры кристаллизации или несколько ниже ее, то такую стекломассу использовать для практических целей невозможно.

Методом массовой кристаллизации нами определена кристаллизационная способность изучаемых стекол. Определена линейная скорость кристаллизации в температурном интервале 800—1250°C.

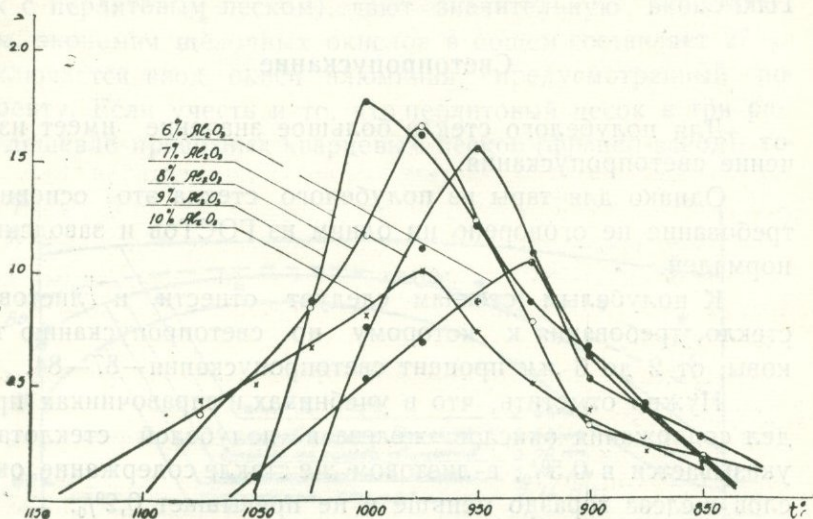
Известно, что введение в натриево-кальциево-кремнеземистые стекла от 1 до 4% окиси алюминия способствует понижению температуры кристаллизации стекломассы. Дальнейшее повышение содержания окиси алюминия (до 12%) увеличивает склонность стекломассы к кристаллизации в пределах температур 1000—1250°C.

При замене от 3 до 5% окиси кремния окисью алюминия кристаллизация не замечена (при увеличении в 56—147 раз). При замене кремния окисью алюминия от 6 до 10,5% (в температурном интервале 850—1075°C) стекла кристаллизуются. При этом с увеличением процентного содержания окиси алюминия увеличивается кристаллическая фаза. Скорость кристаллизации увеличивается с увеличением окиси алюминия до 9%, после чего наблюдается некоторое снижение скорости кристаллизации. Максимальную линейную скорость кристаллизации стекла имеют в температурном интервале 975—1000°C.

Основным критерием, который определяет устойчивость против кристаллизации стекол, вырабатываемых фидерным или вакуумным способами, является верхняя температура кристаллизации, которая должна быть по возможности ниже температуры выработки стекломассы.

Для наших стекол верхние температуры кристаллизации различны. Так, для стекол с содержанием 6,8 и 10,5%

окси алюминия она составляет 1050°C ; а для стекла с содержанием $7\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ — 1000 — 1025°C (фиг. 4).



Фиг. 4.

Известно, что температура капли стекла, подаваемого питателем в машину, зависит от состава стекла, его цвета, а также от размера вырабатываемого изделия. Обычно температура капли для выработки стеклотарных изделий из полубелого стекла равна: для изделий емкостью

0,2—0,3 л.— 1100 — 1120°C

0,5 л.— 1080 — 1100

1,0 л.— 1070 — 1090

3,0 л.— 1060 — 1080 .

При выработке изделий из высокоглиноземистого стекла эти температуры выше.

По сообщению директора Краснодарского стеклотарного завода т. Каплана, с увеличением содержания окиси алюминия в стекломассе с $2,5$ до $11,5\%$ температура капли повышалась от 1065 до 1155°C .

На международном конгрессе по стеклу в Париже в 1956 г. Котшмидт доложил, что разработанное в Чехословакии бутылочное стекло с содержанием 10% глинозема

пригодно для выработки на фидерных машинах, температура варки составляет $1460-1470^{\circ}\text{C}$, а температура капли — 1170°C .

Светопропускание

Для полубелого стекла большое значение имеет изучение светопропускания.

Однако для тары из полубелого стекла это основное требование не оговорено ни одним из ГОСТов и заводских нормалей.

К полубелым стеклам следует отнести и листовое стекло, требования к которому по светопропусканию таковы: от 2 до 6 мм процент светопропускания — 87—84.

Нужно отметить, что в учебниках и справочниках предел содержания окислов железа в полубелой стеклотаре указывается в 0,5%, в листовом же стекле содержание окислов железа гораздо меньше и не превышает 0,2%.

Если исходить из указанных требований ГОСТа на листовое стекло и распространить их на тарное полубелое стекло, то продукция многих заводов Советского Союза по светопропусканию следовало бы признать не соответствующей ГОСТу.

Измерение светопоглощения производилось на спектрометре СФ—4 в пределах длин волн 380—720 *мк*.

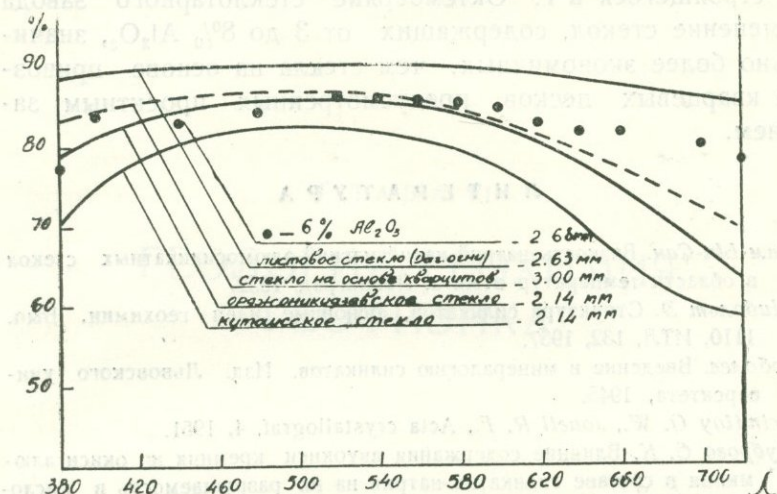
На фиг. 5 приведены данные о светопоглощении листового и полубелого стекол некоторых заводов.

Экономические расчеты

Проектное задание на строящийся в г. Октемберяне АрмССР стеклотарный завод по производству полубелой стеклотары для пищевой промышленности предусматривает выпуск 200 млн. условных банок в год. До выяснения возможности применения местных сырьевых материалов завод будет получать основные сырьевые материалы из других экономических районов Союза.

По проектному заданию цена шихты для одной тонны стекломассы составляет 17 руб. 75 коп.

Предложенные нами составы стекол, где предусматривается применение комбинированных шихт (кварцевый песок с перлитовым песком), дают значительную экономию. Так, экономия щелочных окислов в общем составляет 27%, исключается ввод окиси алюминия, предусмотренный по проекту. Если учесть и то, что перлитовый песок в три раза дешевле привозных кварцевых песков (франко-завод), то



Фиг. 5. Светопропускание некоторых листовых и полубелых стекол.

получается значительная экономия. Предварительные подсчеты показывают, что применение предлагаемых нами составов с содержанием от 3 до 8% окиси алюминия даст экономию (по сравнению с проектным заданием) от 8 до 31% от общей стоимости шихты на одну тонну стекла.

Из приведенной работы можно сделать следующие основные выводы:

1. По своим вязкостно-температурным характеристикам стекла, содержащие от 3 до 8% Al_2O_3 , очень близки к стеклам действующих заводов по производству полубелой стеклотары машинной выработки (Орджоникидзевский, Хватовский).

2. По химической устойчивости изучаемые стекла относятся к I и II гидравлическому классу и удовлетворяют требованиям к полубелой стеклотаре.

3. Определением верхней температуры кристаллизации стекол показано, что она несколько ниже температур выработки.

4. На основании изложенного можно рекомендовать для строящегося в г. Октемберяне стеклотарного завода применение стекол, содержащих от 3 до 8% Al_2O_3 , значительно более экономичных, чем стекла на основе привозных кварцевых песков, предусмотренных проектным заданием.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Ким-Ын-Сан*. Вязкость натрий-калий-магний-алюмосиликатных стекол в области температур отжига. Ленинград, 1952.
2. *Шибольт Э.* Структура силикатов, основные идеи геохимии. Вып. 1110, ИТЛ, 132, 1937.
3. *Соболев*. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львовского университета, 1945.
4. *Brindloy G. W., Jouell R. F.*, Acta crystallograf, 4, 1951.
5. *Дуброво С. К.* Влияние содержания двуокси кремния и окиси алюминия в составе силикатов натрия на их разрушаемость в кислотах. ОХН, 1954.
6. *Лила, Горака и Шарпа*, Amer. Ceram. Soc. 15, 142, 1936.
7. *Колдаев Б. Г., Фатеева З. М.* Разработка новых составов медицинских стекол, ВНИИМИ и О, Москва, 1957.

ГЛАВА VI

ГЕОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ, ГЕОФИЗИКА

С. М. АЙВАЗЯН

РЯДЫ СХОДИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ

В в е д е н и е

Около ста лет назад — в 1869 г. великий представитель русской химической школы Дмитрий Иванович Менделеев открыл закон Периодической системы элементов, названный впоследствии именем его творца. Это открытие сразу поставило Д. И. Менделеева в один ряд с такими корифеями мировой науки, как Ньютон и Ломоносов, Коперник и Дарвин. Глубокое знание предмета, стройная систематика ума и блестящая интуиция привели к открытию закона, который и теперь, спустя сто лет, поражает широтой охвата явлений природы, точностью выражения ее самых сокровенных тайн, направляет к новым постижениям закономерностей мира атомов. Д. И. Менделеев впервые четко сформулировал периодический закон: система физико-химических свойств элементов является периодической функцией их массовых чисел. Закономерности Периодической системы определяются свойствами и строением электронных оболочек и ядер элементов, а также глубинными связями между компонентами атома.

Электрон — одна из элементарных компонент атома, довольно зримо участвует во всех физико-химических процессах и реакциях, создавая валентность — способность энергетически воздействовать на другие атомы. Электрон характеризуется квантовыми числами: 1) **главным**, указывающим на число электронных слоев (до семи); 2) **вторым**, выражающим прецессию орбиты электрона; 3) **третьим**, характеризующим магнитный момент электрона при вращении по орбите и, наконец, 4) **четвертым**, описывающим магнит-

ный момент электрона при вращении его вокруг своей оси (спин).

Примечательно, что согласно принципу запрета Паули, ни один атом не может иметь два совершенно аналогичных электрона (с четырьмя совпадающими квантовыми числами).

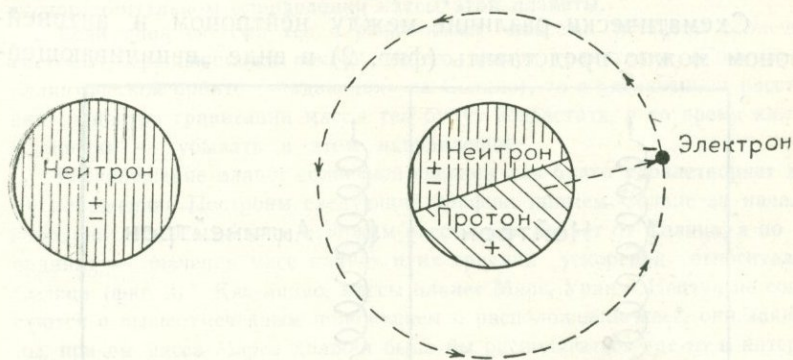
В каждом слое теоретически возможны шесть подгрупп (оболочек) электронов, но практически заполняются лишь четыре (s , p , d , f) подгруппы; в первой подгруппе, может быть одна ячейка, во второй — три, в третьей — пять, в четвертой — семь. В ячейке располагаются один (неспаренный) или два (спаренные) электрона с противоположными значениями спинов. Итак, главное квантовое число характеризует слой, второе — подгруппу, третье — ячейку, четвертое — число электронов в ячейке и спин. Электрон, связанный со структурой атомных слоев и подгрупп, характеризуется энергией связи с ядром — ионизационным потенциалом или силой, с которой он притягивается к ядру. Наиболее устойчивые электронные конфигурации обладают, таким образом, наибольшим ионизационным потенциалом; к ним относятся инертные элементы с заполненной внешней электронной оболочкой.

Строение ядра определяет, прежде всего, изотопный состав элементов и геохимические особенности распространения, миграции, поведения атомов. Важнейшей характеристикой ядра является массовое число и структура — заряд и протон-нейтронные соотношения. Если ядро первого элемента Периодической системы — изотопа водорода — протия состоит только из одного протона, у дейтерия появляется один нейтрон, а у трития — два, то по мере роста числа протонов наблюдается относительное увеличение числа нейтронов, и уже у последнего элемента системы — экаманация — изотоп с наибольшим массовым числом (312) имеет 194 нейтрона против 118 протонов. Следовательно, по мере роста числа заряженных протонов (а в ядре именно протон является энергетически активной частицей), растет способность ядра удерживать большее число нейтральных (а потому слабо друг с другом связанных) частиц — нейтронов,

между тем в нейтральном атоме число электронов всегда в точности равно числу протонов.

В тридцатых годах В. В. Иваненко была предложена модель атомного ядра, состоящего из двух видов частиц (нуклонов)—протонов и нейтронов (зарядовых мультиплетов), откуда следовало, что все остальные частицы являются последующими превращениями этих последних. Протон-нейтронная модель до сих пор считается наиболее эффективной схемой структуры атомного ядра; она подкупает простотой и наглядностью. Однако эта схема не дает ясного представления о причине нахождения в нейтральном атоме равного числа протонов и электронов.

Как известно, нейтрон распадается на протон и электрон, а соединение протона с электроном или потеря протоном заряда (позитрона) опять приводит к появлению нейтрона. Следовательно, можно представить ядро, состоящим только из одного вида частиц—нейтронов, а протоны и электроны считать продуктом последующего превращения нейтронов (фиг. 1). Первоначально атом состоял только из



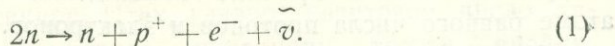
Фиг. 1.

нейтронов и здесь возможна сколь угодно плотная упаковка нейтральных ядер. Затем, в результате превращения части нейтронов в протоны и электроны, в структуре атома появляются протоны и электронное облако.

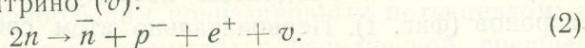
Нейтронная модель ядра является, по сути дела, предысторией атома; здесь нет столь обычных для атома

протонов и электронов, появляющихся позже, при распаде нейтронов, но это не бóльшая абстракция, чем нуклонная модель, где вся известная совокупность элементарных частиц считается производной от нейтрона и протона.

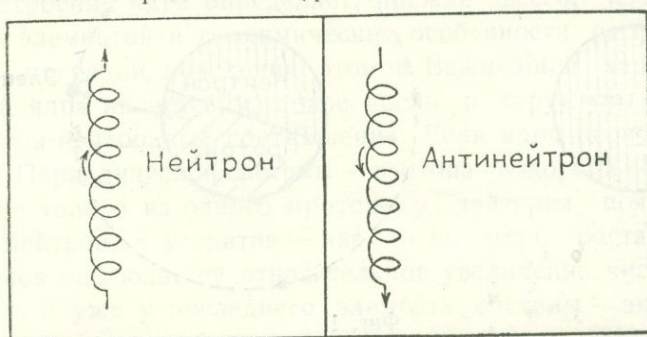
Поскольку массы нейтронов и протонов примерно равны (соответственно: $1,675 \cdot 10^{-24}$ г и $1,672 \cdot 10^{-24}$ г), то, надо полагать, что простейший из атомов — атом водорода — состоял первоначально из одного нейтрона (n), а атом тяжелого водорода (дейтерия) — из двух нейтронов, затем один из них дал начало протону (p^+), электрону (e^-) и антинейтрину ($\bar{\nu}$):



Согласно общему принципу зарядового сопряжения устанавливается симметрия между частицами и античастицами, поэтому существование нейтрона предполагает наличие антинейтрона ($\bar{n}$); в случае антидейтерия два антинейтрона дадут начало антинейтрону, антипротону (p^-), позитрону (e^+) и нейтрину (ν):



Схематически различие между нейтроном и антинейтроном можно представить (фиг. 2) в виде „ввинчивающей-



Фиг. 2.

ся“ (по часовой стрелке) и „развинчивающейся“ (против часовой стрелки) спирали.

Нейтронная модель ядра имеет то преимущество перед нуклонной, что позволяет объяснить нахождение в нейтральном атоме равного числа протонов и электронов (соответственно для антивещества — антипротонов и позитро-

нов), не говоря уж о том, что эта модель генетически проще. Кроме того, из нейтронной модели следует, что масса электронов возрастает с удалением от ядра, а угловая скорость их орбитального вращения — убывает в том же направлении. Как известно, получая квант энергии, т. е. **увеличивая свою массу**, электрон перескакивает с внутренней орбиты на внешнюю и, наоборот, при переходе на внутреннюю орбиту электрон излучает квант энергии, т. е. **теряет часть массы**. Поэтому, с удалением от ядра масса электронов должна возрастать.

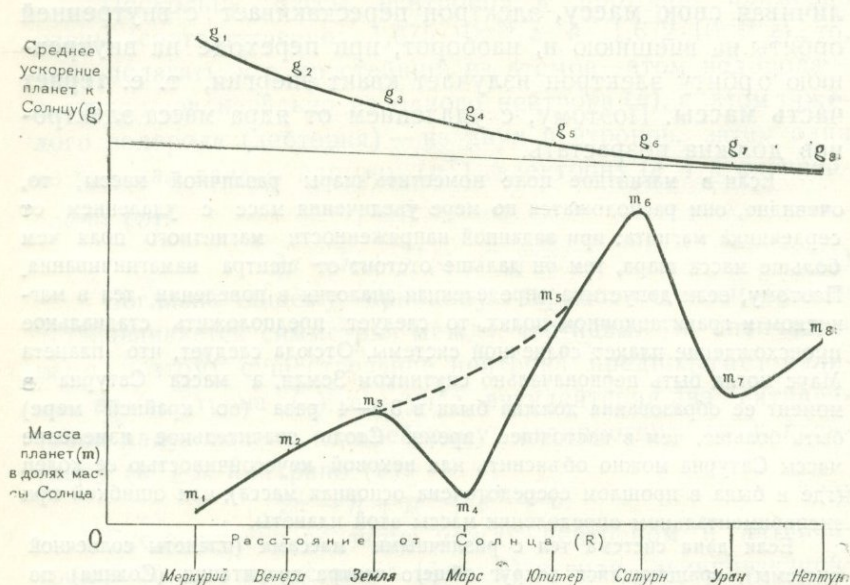
Если в магнитное поле поместить шары различной массы, то, очевидно, они расположатся по мере увеличения масс с удалением от сердечника магнита: при заданной напряженности магнитного поля чем больше масса шара, тем он дальше отстоит от центра намагничивания. Поэтому, если допустима определенная аналогия в поведении тел в магнитном и гравитационном полях, то следует предположить стадияльное происхождение планет солнечной системы. Отсюда следует, что планета Марс могла быть первоначально спутником Земли, а масса Сатурна в момент ее образования должна была в 3,5—4 раза (по крайней мере) быть больше, чем в настоящее время. Столь значительное изменение массы Сатурна можно объяснить или вековой неустойчивостью ее колец (где и была в прошлом сосредоточена основная масса), или ошибкой при экспериментальном определении массы этой планеты.

Если дана система тел с различными массами (планеты солнечной системы), вращающаяся вокруг общего центра гравитации (Солнца) по эллиптической орбите («падающая» на Солнце), то с увеличением расстояния от центра гравитации массы тел будут возрастать, в то время как их ускорения — убывать в этом направлении.

Расположение планет солнечной системы как-будто удовлетворяет этому положению. Построим следующий график: примем Солнце за начало координат, по оси абсцисс отложим расстояния планет от Солнца, а по оси ординат — значения масс планет и их средних ускорений относительно Солнца (фиг. 3)*. Как видно, массы планет Марс, Уран и Нептун не согласуются с вышеотмеченным положением о расположении масс, они занижены, причем масса Марса должна была бы располагаться где-то в интервале масс $1/333420$ (Земля) — $1/1047$ (Юпитер), в то время как в действительности масса Марса в ~ 10 раз меньше Земли и ~ 450 раз меньше Юпитера. Возможно, что Марс был спутником одной из планет — Земли или Юпитера (скорее всего — Земли, т. к. Марс находится в полтора раза,

* Из соображений наглядности расположим планеты на равных расстояниях друг от друга и отложим на графике сравнительные значения масс и средних ускорений планет (абсолютные значения непомерно удлинит бы оси абсцисс и ординат).

а Юпитер — в пять раз дальше от Солнца, чем Земля) и стал планетой в результате внезапного ослабления их гравитационного поля. Можно считать, что справедлива гипотеза Дж. Дарвина об образовании Луны при выбросе силикатической оболочки Земли из акватории Тихого океана в космическое пространство; после такого внезапного ослабления гравитацион-

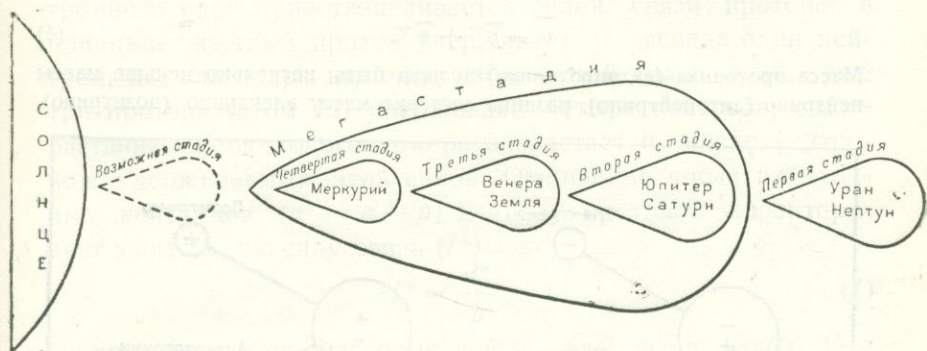


Фиг. 3.

ного поля Земли, спутник последней — Марс мог оторваться от нее и стать планетой, стать «спутником» Солнца. Не исключается образование новых планет за счет Солнца и в наши дни. По-видимому, формирование солнечной системы еще не закончено и только полное угасание Солнца может завершить этот процесс.

При появлении новой планеты за счет Солнца, масса последней уменьшится ощутимо для планет солнечной системы, изменится их ускорение по отношению к Солнцу, эллипсы орбит вытянутся, планеты солнечной системы отойдут на большие расстояния от Солнца, а «крайние» планеты могут вообще покинуть солнечную систему. С образованием Нептуна и Урана планеты **предыдущей** стадии могли отойти от Солнца на большие расстояния и оторвавшись от него удалиться в Галактику. У нас нет сведений об этих планетах, поэтому Нептун и Уран можно считать планетами **первой** стадии образования планет солнечной системы (фиг. 4); они располагаются в

соответствии с распределением масс в пятимерном континууме: чем дальше от притягивающего тела, тем больше масса. Эти две планеты удалялись от Солнца по мере образования других планет (Плутон относится к **предыдущей** стадии). Появление всех остальных планет солнечной системы связано с **мегастадией**, где выделяются **вторая** (Сатурн, Юпитер), **третья** (Земля, Венера) и **четвертая** (Меркурий) стадии. В пределах всей мегастадии, как и отдельных стадий, названные планеты располагаются по мере возрастания масс с ростом расстояния от Солнца. Они группируются в стадии, исходя из относительной близости масс (в долях к массе Солнца):



Фиг. 4.

Меркурий— $1/7500000$; Венера и Земля, соответственно— $1/408000$ и $1/333420$; Юпитер и Сатурн—(как отмечалось, масса Сатурна в момент образования должна была в четыре раза превосходить массу Юпитера).

Планету Марс, таким образом, можно отнести к спутникам, считая ее более поздним, по сравнению с Землей и Юпитером, образованием (смена и расположение масс планет между Землей и Юпитером показаны пунктиром на фиг. 3). Образование спутников с устойчивой (Луна) и с неустойчивой (Марс) связью с породившей их планетой происходило в промежутки между стадиями, поэтому мы их назовем **подстадиями** в общей схеме **стадиального образования планет** солнечной системы.

Особое место занимает **возможная стадия** образования новой планеты, появление которой не исключается при возрастании солнечной активности и выбросе больших масс вещества в окосолнечное пространство.

Структура электрона во многом еще неясна: возможно он окружен еще более мелким роем положительно заряженных частиц, обнаружение которых в настоящее время выходит за пределы возможностей эксперимента.

Немалый интерес представляет нейтрино—стабильная нейтральная частица с массой $< 240 \text{ эв}$ (или $\sim 0,0005 \text{ me}$), предсказанная В. Паули

еще в 1930 г. и позже обнаруженная серией опытов. По аналогии с нейтроном, нейтрино может состоять из положительно и отрицательно заряженных частиц. Если бы удалось разложить нейтрино, то распад имел бы следующий вид (фиг. 5):

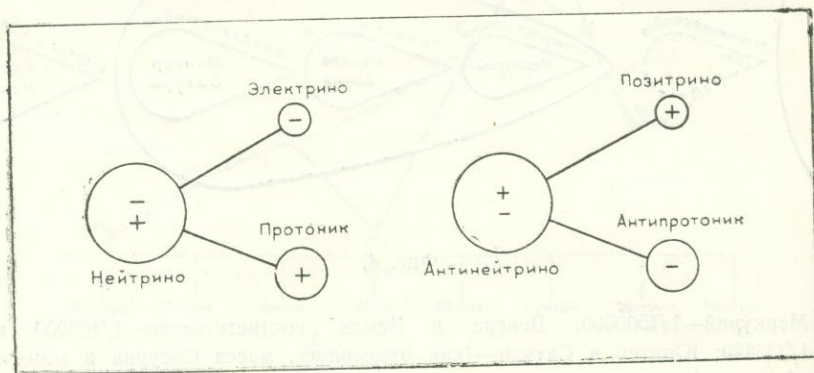
$$\nu \rightarrow \bar{p}^+ + \bar{e}^-, \quad (3)$$

где $\bar{p}^+$ — положительно заряженная частица, аналогичная протону, поэтому мы назовем ее **протоник**; $\bar{e}^-$ — отрицательно заряженная частица, аналогичная электрону, поэтому ее можно назвать **электрино**.

Соответственно, антинейтрино распался бы на отрицательно — антипротоник ($\bar{p}^-$) — и положительно — позитрино (e^+) — заряженные частицы:

$$\bar{\nu} \rightarrow \bar{p}^- + e^+. \quad (4)$$

Масса протоника (антипротоника) должна быть несколько меньше массы нейтрино (антинейтрино), разница составит массу электрино (позитрино).



Фиг. 5.

Реакции захвата нейтрино и антинейтрино

$$\bar{\nu} + p^+ \rightarrow n + e^+, \quad (5)$$

$$\nu + n \rightarrow p^+ + e^-, \quad (6)$$

показывают, что антинейтрино, состоящее из отрицательно заряженного антипротоника и положительного позитрино, в соединении с положительным протоном образует нейтрон и позитрон.

Нейтрино состоит из положительного протоника, поэтому в соединении с нейтроном (реакция (6)) сохраняется положительный заряд — образуется протон, в то время как отрицательно заряженная компонента нейтрино-электрино в этой реакции образует электрон.

Таким образом, предложенная модель строения нейтрино и антинейтрино позволяет по новому интерпретировать механизм протекания реакций захвата.

1. Избыточная сила связи протона и ряды сходимости элементов

Все атомные конфигурации (все элементы) стремятся к простейшему виду; чем сложнее атом, тем быстрее он распадается. Нейтронное ядро, лишенное заряда, неустойчиво, оно распадается быстрее нуклонного, но этот распад означает не разрушение, при котором образуются новые ядра, а лишь возникновение заряда. Полный распад нейтронного ядра приостанавливается силой связи протона: в принципе каждый протон удерживает от распада один нейтрон, но, благодаря наличию **избыточной силы связи**, уже три протона (атом Li) удерживают четыре нейтрона; с возрастанием порядкового номера возрастает и число нейтронов, удерживаемых этой силой. Отношение числа избыточных нейтронов ($n^* = n - p$) к числу протонов характеризует избыточную силу связи (I^*):

$$I^* = \frac{n^*}{p}. \quad (7)$$

Ниже приводятся массовые числа элементов (табл. 1) с целью расчета избыточной силы связи.

На фиг. 6 приводятся расчетные данные для всех элементов Периодической системы: в левом углу каждой клетки указано число протонов, ниже — число нейтронов, в правом углу — число избыточных нейтронов, ниже — избыточная сила связи, т. е. отношение n^*/p . Кривая, характеризующая величину избыточной силы связи элементов, приводится на фиг. 7. Как видно, в целом с возрастанием порядкового номера элементов наблюдается рост избыточной силы связи: после резкого максимума в начале (литий) кривая столь же резко падает до нуля, а затем, претерпев серию взлетов и падений (от углерода до серы), отношение n^*/p начинает возрастать, достигая максимума у трансурановых элементов.

Сравнение данных фиг. 6 и 7 позволяет выделить **ряды сходимости** элементов. Элементы (или изотопы, ионы) с численно равной (до третьего знака) избыточной силой связи протона образуют ряд сходимости. Ряды объединяются в группы, в пределах которых через равное (правильные

Таблица 1

Массовые числа элементов

№	Элементы	Массовые числа	№	Элементы	Массовые числа	№	Элементы	Массовые числа	№	Элементы	Массовые числа
1	<i>H</i>	1	31	<i>Ga</i>	70	61	<i>Pm</i>	145	91	<i>Pa</i>	231
2	<i>He</i>	4	32	<i>Ge</i>	73	62	<i>Sm</i>	150	92	<i>U</i>	238
3	<i>Li</i>	7	33	<i>As</i>	75	63	<i>Eu</i>	152	93	<i>Np</i>	237
4	<i>Be</i>	9	34	<i>Se</i>	79	64	<i>Gd</i>	157	94	<i>Pu</i>	244
5	<i>B</i>	11	35	<i>Br</i>	80	65	<i>Tb</i>	159	95	<i>Am</i>	243
6	<i>C</i>	12	36	<i>Kr</i>	84	66	<i>Dy</i>	163	96	<i>Cm</i>	246
7	<i>N</i>	14	37	<i>Rb</i>	85	67	<i>Ho</i>	165	97	<i>Bk</i>	247
8	<i>O</i>	16	38	<i>Sr</i>	88	68	<i>Er</i>	167	98	<i>Cf</i>	251
9	<i>F</i>	19	39	<i>Y</i>	89	69	<i>Tu</i>	169	99	<i>Es</i>	254
10	<i>Ne</i>	20	40	<i>Zr</i>	91	70	<i>Yb</i>	173	100	<i>Fm</i>	258
11	<i>Na</i>	23	41	<i>Nb</i>	93	71	<i>Lu</i>	175	101	<i>Md</i>	259
12	<i>Mg</i>	24	42	<i>Mo</i>	96	72	<i>Hf</i>	178	102	(<i>No</i>)	266
13	<i>Al</i>	27	43	<i>Tc</i>	97	73	<i>Ta</i>	181	103	<i>Lw</i>	265
14	<i>Si</i>	28	44	<i>Ru</i>	101	74	<i>W</i>	184	104	<i>E—H</i>	270
15	<i>P</i>	31	45	<i>Rh</i>	103	75	<i>Re</i>	186	105	<i>E—T</i>	273
16	<i>S</i>	32	46	<i>Pd</i>	106	76	<i>Os</i>	190	106	<i>E—W</i>	276
17	<i>Cl</i>	35	47	<i>Ag</i>	108	77	<i>Ir</i>	192	107	<i>E—Re</i>	277
18	<i>Ar</i>	40	48	<i>Cd</i>	112	78	<i>Pt</i>	195	108	<i>E—Os</i>	280
19	<i>K</i>	39	49	<i>In</i>	115	79	<i>Au</i>	197	109	<i>E—Ir</i>	281
20	<i>Ca</i>	40	50	<i>Sn</i>	119	80	<i>Hg</i>	201	110	<i>E—Pt</i>	286
21	<i>Sc</i>	45	51	<i>Sb</i>	122	81	<i>Tl</i>	204	111	<i>E—Au</i>	287
22	<i>Ti</i>	48	52	<i>Te</i>	128	82	<i>Pb</i>	207	112	<i>E—Hg</i>	292
23	<i>V</i>	51	53	<i>I</i>	127	83	<i>Bi</i>	209	113	<i>E—Tl</i>	293
24	<i>Cr</i>	52	54	<i>Xe</i>	132	84	<i>Po</i>	209	114	<i>E—Pb</i>	298
25	<i>Mn</i>	55	55	<i>Cs</i>	133	85	<i>At</i>	210	115	<i>E—Bi</i>	299
26	<i>Fe</i>	56	56	<i>Ba</i>	137	86	<i>Em</i>	222	116	<i>E—Po</i>	304
27	<i>Co</i>	59	57	<i>La</i>	139	87	<i>Fr</i>	223	117	<i>E—At</i>	305
28	<i>Ni</i>	59	58	<i>Ce</i>	140	88	<i>Ra</i>	226	118	<i>E—Em</i>	310
29	<i>Cu</i>	64	59	<i>Pr</i>	141	89	<i>Ac</i>	227			
30	<i>Zn</i>	65	60	<i>Nd</i>	144	90	<i>Th</i>	232			

группы) или неравное (неправильные группы) число появляются элементы с одинаковой силой связи. Таким образом, определенная периодичность свойств создает одинаковую частотность встречаемости элементов с равной избыточной силой связи протона.

По избыточной силе связи протона элементы образуют следующие группы рядов.

1 0	H	1,000																	2 2	He	0,000								
3 4	Li	0,333	5 5	Be	0,250	6 5	B	0,200	7 6	C	0,000	8 7	N	0,000	9 8	O	0,000	10 8	F	0,111	10 10	Ne	0,000						
11 12	Na	0,091	12 12	Mg	0,000	13 14	Al	0,077	14 14	Si	0,000	15 16	P	0,067	16 16	S	0,000	17 18	Cl	0,059	18 22	Ar	0,222						
19 20	K	0,053	20 20	Ca	0,000	21 24	Sc	0,143	22 26	Ti	0,182	23 28	V	0,217	24 28	Cr	0,167	25 30	Mn	0,200	26 30	Fe	0,154	27 32	Co	0,185	28 31	Ni	0,107
29 35	Cu	0,207	30 35	Zn	0,167	31 39	Ga	0,258	32 41	Ge	0,281	33 42	As	0,273	34 45	Se	0,324	35 45	Br	0,286	36 48	Kr	0,333						
37 48	Rb	0,297	38 50	Sr	0,316	39 50	Y	0,282	40 51	Zr	0,275	41 52	Nb	0,268	42 54	Mo	0,265	43 54	Tc	0,256	44 57	Ru	0,295	45 58	Rh	0,289	46 60	Pd	0,304
47 61	Ag	0,298	48 64	Cd	0,333	49 66	In	0,347	50 69	Sn	0,380	51 71	Sb	0,392	52 76	Te	0,402	53 74	J	0,398	54 78	Xe	0,444						
55 78	Cs	0,418	56 81	Ba	0,446	57 82	La	0,438	58 82	Ce	0,414	59 82	Pr	0,390	60 84	Nd	0,400	61 84	Pm	0,377									
62 88	Sm	0,419	63 89	Eu	0,413	64 93	Gd	0,453	65 94	Tb	0,446	66 97	Dy	0,470	67 98	Hb	0,463	68 99	Er	0,456									
69 100	Tu	0,449	70 103	Yb	0,471	71 104	Lu	0,465	72 106	Hf	0,472	73 108	Ta	0,479	74 110	W	0,486	75 111	Re	0,480	76 114	Os	0,500	77 115	Ir	0,494	78 117	Pt	0,500
79 118	Au	0,494	80 121	Hg	0,512	81 123	Tl	0,518	82 125	Pb	0,524	83 126	B	0,518	84 125	Pb	0,488	85 125	At	0,470	86 136	Em	0,581						
87 136	Fr	0,563	88 138	Ra	0,568	89 138	Ac	0,550	90 142	Th	0,578	91 140	Pa	0,538	92 146	U	0,587	93 144	Np	0,548									
94 150	Pu	0,595	95 148	Am	0,558	96 150	Cm	0,562	97 150	Bk	0,546	98 153	Cf	0,561	99 155	Es	0,566	100 158	Fm	0,580									
101 158	Md	0,564	102 164	(No)	0,608	103 162	Lw	0,573	104 166	E-Hf	0,596	105 168	E-Ta	0,600	106 170	E-W	0,604	107 170	E-Re	0,589	108 172	E-Os	0,593	109 172	E-Ir	0,578	110 176	E-Pt	0,600
111 176	E-Au	0,585	112 180	E-Hg	0,607	113 180	E-Tl	0,593	114 184	E-Pb	0,614	115 184	E-Bi	0,600	116 188	E-Po	0,621	117 188	E-At	0,607	118 192	E-Em	0,627						

Фиг. 6.

Ряды сходимости элементов Экстремальная группа

$$A-1) {}_1H^1 = -1,000.$$

$$A-2) {}_{118}E - Em^{310} = 0,627.$$

Нулевая группа (частотность 1 и 2)

$$B-3) {}_2He^4 = 0,000.$$

$$B-4) {}_6C^{12} = {}_7N^{14} = {}_8O^{16} = 0,000.$$

$$B-5) {}_{10}Ne^{20} = {}_{12}Mg^{24} = {}_{14}Si^{28} = {}_{16}S^{32} = 0,000.$$

$$B-6) {}_{20}Ca^{40} = 0,000.$$

Правильные группы

Группа В (частотность 2)

$$B-7) {}_{77}Ir^{192} = {}_{79}Au^{197} = 0,494.$$

$$B-8) {}_{76}Os^{190} = {}_{78}Pt^{195} = 0,500.$$

$$B-9) {}_{81}Tl^{204} = {}_{83}Bi^{209} = 0,518.$$

Группа Г (частотность 5)

$$Г-10) {}_{108}E - Os^{280} = {}_{113}E - Tl^{293} = 0,593.$$

$$Г-11) {}_{105}E - Ta^{273} = {}_{110}E - Pt^{286} = {}_{115}E - Bi^{299} = 0,600.$$

$$Г-12) {}_{112}E - Hg^{292} = {}_{117}E - At^{305} = 0,607.$$

Группа Д (частотность 19)

$$Д-13) {}_{66}Dy^{163} = {}_{85}At^{210} = 0,470.$$

$$Д-14) {}_{90}Th^{232} = {}_{109}E - Ir^{281} = 0,578.$$

Неправильная группа Е (частотность смешанная)

$$E-15) {}_{24}Cr^{52} = {}_{30}Zn^{65} = 0,167.$$

$$E-16) {}_5B^{11} = {}_{25}Mn^{55} = 0,200.$$

$$E-17) {}_{35}Br^{80} = {}_{42}Mo^{96} = 0,286.$$

$$E-18) {}_3Li^7 = {}_{48}Cd^{112} = 0,333.$$

$$E-19) {}_{56}Ba^{137} = {}_{65}Tb^{159} = 0,446.$$

$$E-20) {}_{94}Pu^{244} = {}_{104}E - Hf^{270} = 0,596.$$

Кратная группа Ж (инертные элементы;

частотность $1n:2n:4n:6n)^*$

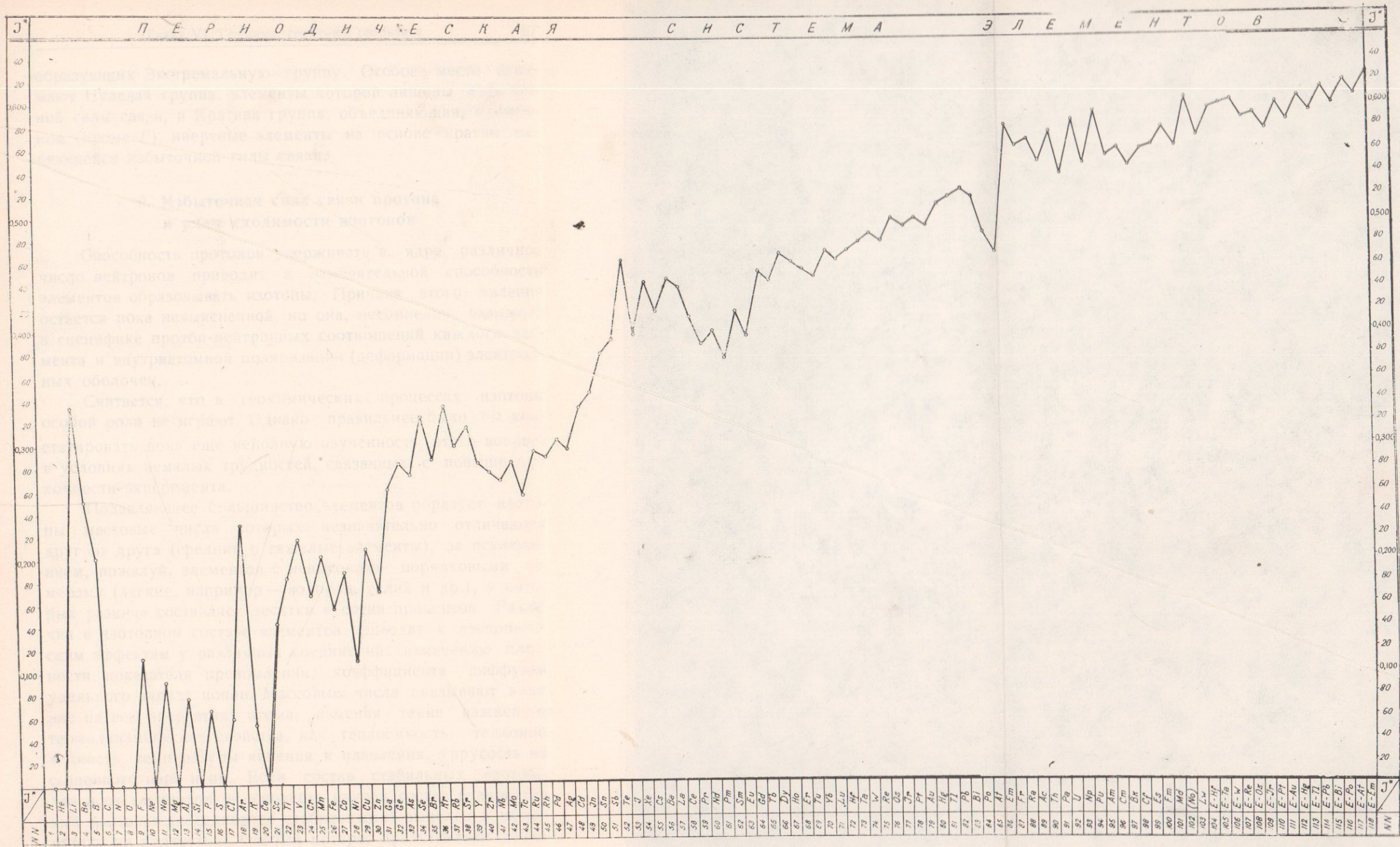
$$Ж-21) {}_9F^{19}: {}_{18}Ar^{40}: {}_{36}Kr^{84}: {}_{54}Xe^{132} =$$

$$= 0,111:0,222:0,333:0,444 = 1:2:3:4.$$

Все значения избыточной силы связи элементов укладываются между $-1,000$ (протий) и $0,627$ (экзаэманаций),

* n — число протонов (порядковый номер) первого элемента ряда.

** Рассмотрен распространенный изотоп ксенона с массовым числом 132 (а не 131,3).



Фиг. 7.

образующих Экстремальную группу. Особое место занимают Нулевая группа, элементы которой лишены избыточной силы связи, и Кратная группа, объединяющая, в основном (кроме F), инертные элементы на основе кратно меняющейся избыточной силы связи.

2. Избыточная сила связи протона и ряды сходимости изотопов

Способность протонов удерживать в ядре различное число нейтронов приводит к замечательной способности элементов образовывать изотопы. Причина этого явления остается пока невыясненной, но она, несомненно, заложена в специфике протон-нейтронных соотношений каждого элемента и внутриатомной поляризации (деформации) электронных оболочек.

Считается, что в геохимических процессах изотопы особой роли не играют. Однако правильнее было бы констатировать пока еще неполную изученность этого вопроса в условиях немалых трудностей, связанных с повышением точности эксперимента.

подавляющее большинство элементов образует изотопы, массовые числа которых незначительно отличаются друг от друга (средние и тяжелые элементы), за исключением, пожалуй, элементов с невысокими порядковыми номерами (легкие, например — водород, гелий и др.), у которых разница составляет десятки и сотни процентов. Различия в изотопном составе элементов приводят к изотопическим эффектам у различных соединений: изменению плотности, показателя преломления, коэффициента диффузии, удельного заряда ионов. Массовые числа оказывают влияние на всю энергетику атома, изменяя такие важнейшие термодинамические свойства, как теплоемкость, теплопроводность, температуры кипения и плавления, упругость насыщенного пара и пр. Если состав стабильных изотопов для всех элементов, в основном, изучен, состав радиоактивных изотопов (соседних со стабильными) выявлен и изучен далеко не полностью. Особый интерес представляют изото-

пы с половинчатым нейтроном или дробным массовым числом, существование которых чисто теоретически предсказывается на основании рядов сходимости изотопов по избыточной силе связи протона. Это совершенно новая область в учении об изотопах явится, возможно, и наиболее неожиданной в смысле обнаружения метастабильных (относительно устойчивых) изотопов (изомеров) с большей массой и энергией и другим значением периода полураспада. Дробные протон-нейтронные соотношения, несомненно, углубят наши знания о структуре атомных ядер, позволят проследить новые связи между родственными или близкими элементами.

Ниже приводятся табулированные исходные данные по определению избыточной силы связи протонов изотопов и составлению рядов сходимости изотопов.

Таблица 2
Определение избыточной силы связи изотопов

№№	Элементы	Массовое число (изотопы)	Количество протонов (p)	Количество нейтронов (n)	Количество избыточных нейтронов ($n^* = n - p$)	Избыточная сила связи ($I^* = \frac{n^*}{p}$)
1	2	3	4	5	6	7
1	<i>H</i>	1	1	0	-1	-1,000
		2	1	1	0	0,000
		3	1	2	1	1,000
2	<i>He</i>	3	2	1	-1	-0,500
		4	2	2	0	0,000
3	<i>Li</i>	6	3	3	0	0,000
		7	3	4	1	0,333
4	<i>Be</i>	8	4	4	0	0,000
		9	4	5	1	0,250
5	<i>B</i>	10	5	5	0	0,000
		11	5	6	1	0,200
6	<i>C</i>	12	6	6	0	0,000
		13	6	7	1	0,167

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
7	<i>N</i>	14 15	7 7	7 8	0 1	0,000 0,143
8	<i>O</i>	16 17 18	8 8 8	8 9 10	0 1 2	0,000 0,125 0,250
9	<i>F</i>	19	9	10	1	0,111
10	<i>Ne</i>	20 21 22	10 10 10	10 11 12	0 1 2	0,000 0,100 0,200
11	<i>Na</i>	23	11	12	1	0,091
12	<i>Mg</i>	24 25 26	12 12 12	12 13 14	0 1 2	0,000 0,083 0,167
13	<i>Al</i>	27	13	14	1	0,077
14	<i>Si</i>	28 29 30	14 14 14	14 15 16	0 1 2	0,000 0,071 0,143
15	<i>P</i>	31	15	16	1	0,067
16	<i>S</i>	32 33 34 36	16 16 16 16	16 17 18 20	0 1 2 4	0,000 0,062 0,125 0,250
17	<i>Cl</i>	35 37	17 17	18 20	1 3	0,059 0,176
18	<i>Ar</i>	36 38 40	18 18 18	18 20 22	0 2 4	0,000 0,111 0,222
19	<i>K</i>	39 40 41	19 19 19	20 21 22	1 2 3	0,053 0,105 0,158
20	<i>Ca</i>	40 42 43 44 46 48	20 20 20 20 20 20	20 22 23 24 26 28	0 2 3 4 6 8	0,000 0,100 0,150 0,200 0,300 0,400
21	<i>Sc</i>	45	21	24	3	0,143

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
22	<i>Ti</i>	46	22	24	2	0,091
		47	22	25	3	0,136
		48	22	26	4	0,182
		49	22	27	5	0,227
		50	22	28	6	0,273
23	<i>V</i>	50	23	27	4	0,174
		51	23	28	5	0,217
24	<i>Cr</i>	50	24	26	2	0,083
		52	24	28	4	0,167
		53	24	29	5	0,208
		54	24	30	6	0,250
25	<i>Mn</i>	55	25	30	5	0,200
26	<i>Fe</i>	54	26	28	2	0,077
		56	26	30	4	0,154
		57	26	31	5	0,192
		58	26	32	6	0,231
27	<i>Co</i>	59	27	32	5	0,185
28	<i>Ni</i>	58	28	30	2	0,071
		60	28	32	4	0,143
		61	28	33	5	0,179
		62	28	34	6	0,214
		64	28	36	8	0,286
29	<i>Cu</i>	63	29	34	5	0,172
		65	29	36	7	0,241
30	<i>Zn</i>	64	30	34	4	0,133
		66	30	36	6	0,200
		67	30	37	7	0,233
		68	30	38	8	0,267
		70	30	40	10	0,333
31	<i>Ga</i>	69	31	38	8	0,226
		71	31	40	9	0,290
32	<i>Ge</i>	70	32	38	6	0,188
		72	32	40	8	0,250
		73	32	41	9	0,281
		74	32	42	10	0,312
		76	32	44	12	0,375
33	<i>As</i>	75	33	42	9	0,273
34	<i>Se</i>	74	34	40	6	0,176
		76	34	42	8	0,235

Продолж. табл. 2

2	2	3	4	5	6	7
	<i>Se</i>	77 78 80 82	34 34 34 34	43 44 46 48	9 10 12 14	0,265 0,294 0,353 0,412
35	<i>Br</i>	79 81	35 35	44 46	9 11	0,257 0,314
36	<i>Kr</i>	78 80 82 83 84 86	36 36 36 36 36 36	42 44 46 47 48 50	6 8 10 11 12 14	0,167 0,222 0,278 0,306 0,333 0,389
37	<i>Rb</i>	85 87	37 37	48 50	11 13	0,297 0,351
38	<i>Sr</i>	84 86 87 88	38 38 38 38	46 48 49 50	8 10 11 12	0,210 0,263 0,289 0,316
39	<i>Y</i>	89	39	50	11	0,282
40	<i>Zr</i>	90 91 92 94 96	40 40 40 40 40	50 51 52 54 56	10 11 12 14 16	0,250 0,275 0,300 0,350 0,400
41	<i>Nb</i>	93	41	52	11	0,268
42	<i>Mo</i>	92 94 95 96 97 98 100	42 42 42 42 42 42 42	50 52 53 54 55 56 58	8 10 11 12 13 14 16	0,190 0,238 0,262 0,286 0,310 0,333 0,381
43	<i>Tc</i>	97 98 99	43 43 43	54 55 56	11 12 13	0,256 0,279 0,302
44	<i>Ru</i>	96 98 99 100 101 102 104	44 44 44 44 44 44 44	52 54 55 56 57 58 60	8 10 11 12 13 14 16	0,182 0,227 0,250 0,273 0,295 0,318 0,364

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
45	<i>Rh</i>	103	45	58	13	0,289
46	<i>Pd</i>	102	46	56	10	0,217
		104	46	58	12	0,261
		105	46	59	13	0,283
		106	46	60	14	0,304
		108	46	62	16	0,348
		110	46	64	18	0,391
47	<i>Ag</i>	107	47	60	13	0,277
		109	47	62	15	0,319
48	<i>Cd</i>	106	48	58	10	0,208
		108	48	60	12	0,250
		110	48	62	14	0,292
		111	48	63	15	0,312
		112	48	64	16	0,333
		113	48	65	17	0,354
		114	48	66	18	0,375
		116	48	68	20	0,417
49	<i>In</i>	113	49	64	15	0,306
		115	49	66	17	0,347
50	<i>Sn</i>	112	50	62	12	0,240
		114	50	64	14	0,280
		115	50	65	15	0,300
		116	50	66	16	0,320
		117	50	67	17	0,340
		118	50	68	18	0,360
		119	50	69	19	0,380
		120	50	70	20	0,400
		122	50	72	22	0,440
		124	50	74	24	0,480
51	<i>Sb</i>	121	51	70	19	0,372
		123	51	72	21	0,412
52	<i>Te</i>	120	52	68	16	0,308
		122	52	70	18	0,346
		123	52	71	19	0,365
		124	52	72	20	0,385
		125	52	73	21	0,404
		126	52	74	22	0,423
		128	52	76	24	0,462
		130	52	78	26	0,500
53	<i>I</i>	127	53	74	21	0,396
54	<i>Xe</i>	124	54	70	16	0,296
		126	54	72	18	0,333

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
		128	54	74	20	0,370
		129	54	75	21	0,389
		130	54	76	22	0,407
		131	54	77	23	0,426
		132	54	78	24	0,444
		134	54	80	26	0,481
		136	54	82	28	0,518
55	<i>Cs</i>	133	55	78	23	0,418
56	<i>Ba</i>	130	56	74	18	0,321
		132	56	76	20	0,357
		134	56	78	22	0,393
		135	56	79	23	0,411
		136	56	80	24	0,429
		137	56	81	25	0,446
		138	56	82	26	0,464
57	<i>La</i>	138	57	81	24	0,421
		139	57	82	25	0,439
58	<i>Ce</i>	136	58	78	20	0,345
		138	58	80	22	0,379
		140	58	82	24	0,414
		142	58	84	26	0,448
59	<i>Pr</i>	141	59	82	23	0,390
60	<i>Nd</i>	142	60	82	22	0,367
		143	60	83	23	0,383
		144	60	84	24	0,400
		145	60	85	25	0,417
		146	60	86	26	0,433
		148	60	88	28	0,467
		150	60	90	30	0,500
61	<i>Pm</i>	145	61	84	23	0,377
		147	61	86	25	0,410
62	<i>Sm</i>	144	62	82	20	0,323
		146	62	84	22	0,355
		147	62	85	23	0,371
		148	62	86	24	0,387
		149	62	87	25	0,403
		150	62	88	26	0,419
		152	62	90	28	0,452
		154	62	92	30	0,484
63	<i>Eu</i>	151	63	88	25	0,397
		153	63	90	27	0,429

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
64	<i>Gd</i>	150 152 154 155 156 157 158 160	64 64 64 64 64 64 64 64	86 88 90 91 92 93 94 96	22 24 26 27 28 29 30 32	0,344 0,375 0,406 0,422 0,438 0,453 0,469 0,500
65	<i>Tb</i>	159	65	94	29	0,446
66	<i>Dy</i>	156 158 160 161 162 163 164	66 66 66 66 66 66 66	90 92 94 95 96 97 98	24 26 28 29 30 31 32	0,364 0,394 0,424 0,439 0,454 0,470 0,485
67	<i>Ho</i>	165	67	98	31	0,463
68	<i>Er</i>	162 164 166 167 168 170	68 68 68 68 68 68	94 96 98 99 100 102	26 28 30 31 32 34	0,382 0,412 0,441 0,456 0,471 0,500
69	<i>Tu</i>	169	69	100	21	0,449
70	<i>Yb</i>	168 170 171 172 173 174 176	70 70 70 70 70 70 70	98 100 101 102 103 104 106	28 30 31 32 33 34 36	0,400 0,429 0,443 0,457 0,471 0,486 0,514
71	<i>Lu</i>	175 176	71 71	104 105	33 34	0,465 0,479
72	<i>Hf</i>	174 176 177 178 179 180	72 72 72 72 72 72	102 104 105 106 107 108	30 32 33 34 35 36	0,417 0,444 0,458 0,472 0,486 0,500
73	<i>Ta</i>	180 181	73 73	107 108	34 35	0,466 0,479

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
74	<i>W</i>	180 182 183 184 186	74 74 74 74 74	106 108 109 110 112	32 34 35 36 38	0,432 0,459 0,473 0,486 0,514
75	<i>Re</i>	185 187	75 75	110 112	35 37	0,467 0,493
76	<i>Os</i>	184 186 187 188 189 190 192	76 76 76 76 76 76 76	108 110 111 112 113 114 116	32 34 35 36 37 38 40	0,421 0,447 0,460 0,474 0,487 0,500 0,526
77	<i>Ir</i>	191 193	77 77	114 116	37 39	0,481 0,506
78	<i>Pt</i>	190 192 194 195 196 198	78 78 78 78 78 78	112 114 116 117 118 120	34 36 38 39 40 42	0,436 0,462 0,487 0,500 0,513 0,538
79	<i>Au</i>	197	79	118	39	0,494
80	<i>Hg</i>	196 198 199 200 201 202 204	80 80 80 80 80 80 80	116 118 119 120 121 122 124	36 38 39 40 41 42 44	0,450 0,475 0,488 0,500 0,512 0,525 0,550
81	<i>Tl</i>	203 205	81 81	122 124	41 43	0,506 0,531
82	<i>Pb</i>	204 206 207 208	82 82 82 82	122 124 125 126	40 42 43 44	0,488 0,512 0,524 0,537
83	<i>Bi</i>	209	83	126	43	0,518
84	<i>Po</i>	208 209 210 211 212	84 84 84 84 84	124 125 126 127 128	40 41 42 43 44	0,476 0,488 0,500 0,512 0,524

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
		213	84	129	45	0,536
		214	84	130	46	0,548
		216	84	132	48	0,571
85	<i>At</i>	210	85	125	40	0,471
		215	85	130	45	0,529
86	<i>Em</i>	212	86	126	40	0,465
		214	86	128	42	0,488
		216	86	130	44	0,512
		217	86	131	45	0,523
		218	86	132	46	0,535
		220	86	134	48	0,558
		222	86	136	50	0,581
87	<i>Fr</i>	219	87	132	45	0,517
		223	87	136	49	0,563
88	<i>Ra</i>	218	88	130	42	0,477
		220	88	132	44	0,500
		221	88	133	45	0,511
		222	88	134	46	0,523
		223	83	135	47	0,534
		224	88	136	48	0,545
		226	88	137	50	0,568
89	<i>Ac</i>	225	89	136	47	0,528
		227	89	138	49	0,551
90	<i>Th</i>	224	90	134	44	0,489
		226	90	136	46	0,511
		227	90	137	47	0,522
		228	90	138	48	0,533
		229	90	139	49	0,544
		230	90	140	50	0,556 (0,555)
		232	90	142	52	0,578
91	<i>Pa</i>	231	91	140	49	0,538
92	<i>U</i>	230	92	138	46	0,500
		232	92	140	48	0,522
		233	92	141	49	0,533
		234	92	142	50	0,543
		235	92	143	51	0,554
		236	92	144	52	0,565
		238	92	146	54	0,587
93	<i>Np</i>	237	93	144	51	0,548

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
94	<i>Pu</i>	236	94	142	48	0,511
		238	94	144	50	0,532
		239	94	145	51	0,543
		240	94	146	52	0,553
		242	94	148	54	0,574
		244	94	150	56	0,596
95	<i>Am</i>	241	95	146	51	0,537
		243	95	148	53	0,558
96	<i>Cm</i>	240	96	144	48	0,500
		242	96	146	50	0,521
		244	96	148	52	0,542
		245	96	149	53	0,552
		246	96	150	54	0,562
		247	96	151	55	0,573
		248	96	152	56	0,583
		250	96	154	58	0,604
97	<i>Bk</i>	247	97	150	53	0,546
98	<i>Cf</i>	246	98	148	50	0,510
		248	98	150	52	0,531
		249	98	151	53	0,541
		250	98	152	54	0,551
		251	98	153	55	0,561
		252	98	154	56	0,571
		254	98	156	58	0,592
99	<i>Es</i>	253	99	154	55	0,556 (0,555)
		254	99	155	56	0,566
100	<i>Fm</i>	250	100	150	50	0,500
		252	100	152	52	0,520
		254	100	154	54	0,540
		255	100	155	55	0,550
		256	100	156	56	0,560
		257	100	157	57	0,570
		258	100	158	58	0,580
		260	100	160	60	0,600
101	<i>Md</i>	256	101	155	54	0,535
		259	101	158	57	0,564
102	(<i>No</i>)	254	102	152	50	0,490
		256	102	154	52	0,510
		260	102	158	56	0,549
		261	102	159	57	0,559
		262	102	160	58	0,569
		263	102	161	59	0,578
		264	102	162	60	0,588
		266	102	164	62	0,608

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
103	<i>Lw</i>	257 265	103 103	154 162	51 59	0,495 0,573
104	<i>E-Hf</i>	264 266 267 268 269 270 272	104 104 104 104 104 104 104	160 162 163 164 165 166 168	56 58 59 60 61 62 64	0,538 0,558 0,567 0,577 0,586 0,596 0,615
105	<i>E-Ta</i>	271 273	105 105	166 168	61 63	0,581 0,600
106	<i>E-W</i>	270 272 273 274 275 276	106 106 106 106 106 106	164 166 167 168 169 170	58 60 61 62 63 64	0,547 0,566 0,575 0,585 0,594 0,604
107	<i>E-Re</i>	277	107	170	63	0,589
108	<i>E-Os</i>	276 278 279 280 282	108 108 108 108 108	168 170 171 172 174	60 62 63 64 66	0,556 (0,555) 0,574 0,583 0,593 0,611
109	<i>E-Ir</i>	281	109	172	63	0,578
110	<i>E-Pt</i>	280 282 283 284 285 286 288	110 110 110 110 110 110 110	170 172 173 174 175 176 178	60 62 63 64 65 66 68	0,545 0,564 0,573 0,582 9,591 0,600 0,618
111	<i>E-Au</i>	287	111	176	65	0,586
112	<i>E-Hg</i>	286 288 289 290 291 292 294	112 112 112 112 112 112 112	174 176 177 178 179 180 182	62 64 65 66 67 68 70	0,554 0,571 0,580 0,589 0,598 0,607 0,625
113	<i>E-Tl</i>	293	113	180	67	0,593

Продолж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
114	<i>E—Pb</i>	292	114	178	64	0,561
		294	114	180	66	0,579
		295	114	181	67	0,588
		296	114	182	68	0,596
		297	114	183	69	0,605
		298	114	184	70	0,614
		300	114	186	72	0,632
115	<i>E—Bi</i>	299	115	184	69	0,600
116	<i>E—Po</i>	298	116	182	66	0,569
		300	116	184	68	0,586
		301	116	185	69	0,595
		302	116	186	70	0,603
		303	116	187	71	0,612
		304	116	188	72	0,621
		306	116	190	74	0,638
117	<i>E—At</i>	305	117	188	71	0,607
118	<i>E—Em</i>	304	118	186	68	0,576
		306	118	188	70	0,593
		307	118	189	71	0,602
		308	118	190	72	0,610
		309	118	191	73	0,619
		310	118	192	74	0,627
		312	118	194	76	0,644

Ряды сходимости изотопов

I Экстремальная группа

$$A-1) {}_1H^1 = -1,000.$$

$$A-2) {}_2He^3 = -0,500.$$

$$A-3) {}_{118}E - Em^{312} = 0,644.$$

$$A-4) {}_1H^3 = 1,000.$$

II Нулевая группа (частотность 1 и 2)

$$B-5) \overbrace{{}_1H^2 = {}_2He^4 = {}_3Li^6 = {}_4Be^8 = {}_5B^{10} = {}_6C^{12} = {}_7N^{14} = {}_8O^{16}}^2 = 0,000.$$

1

$$\text{В-6)} \quad \overbrace{^{10}\text{Ne}^{20} = ^{12}\text{Mg}^{24} = ^{14}\text{Si}^{28} = ^{16}\text{S}^{32} = ^{18}\text{Ar}^{36} = ^{20}\text{Ca}^{40}}^4 = 0,000.$$

2

III. Правильные группы

Группа В (частотность 2)

$$\text{В-7)} \quad \overbrace{^{71}\text{Lu}^{176} = ^{73}\text{Ta}^{181}}^5 = 0,479.$$

2

$$\text{В-8)} \quad \overbrace{^{76}\text{Os}^{189} = ^{78}\text{Pt}^{194}}^5 = 0,487.$$

2

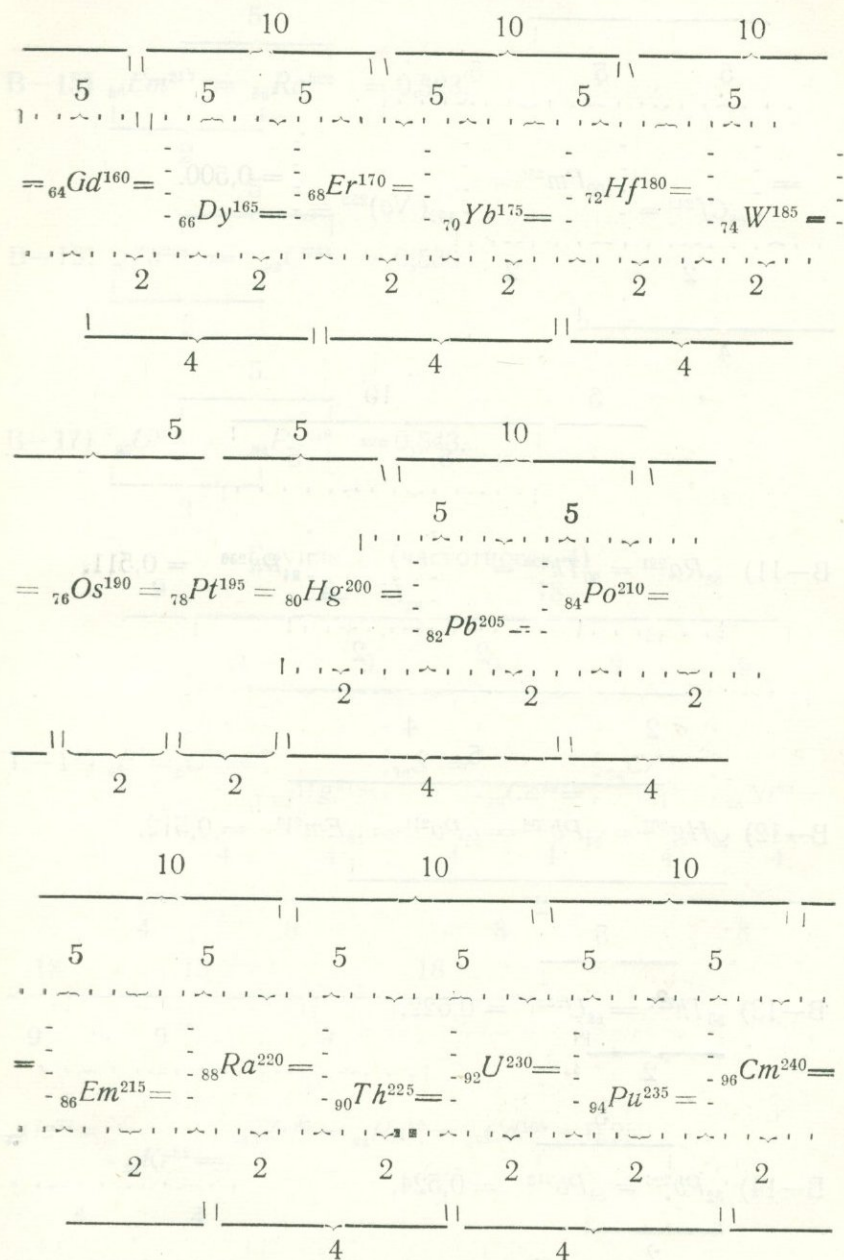
$$\text{В-9)} \quad \overbrace{^{80}\text{Hg}^{199} = ^{82}\text{Pb}^{204} = ^{84}\text{Po}^{209} = ^{86}\text{Em}^{214}}^5 = 0,488.$$

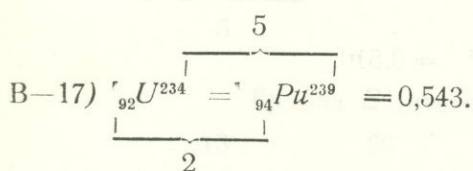
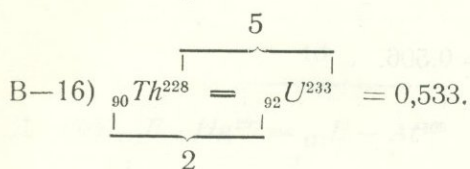
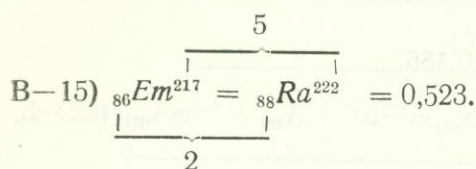
2

$$\text{В-10)} \quad \overbrace{\overbrace{^{52}\text{Te}^{130} = ^{54}\text{Xe}^{135} = ^{56}\text{Ba}^{140} = ^{58}\text{Xe}^{145} = ^{60}\text{Nd}^{150} = ^{62}\text{Sm}^{155}}^{20}}^{10} =$$

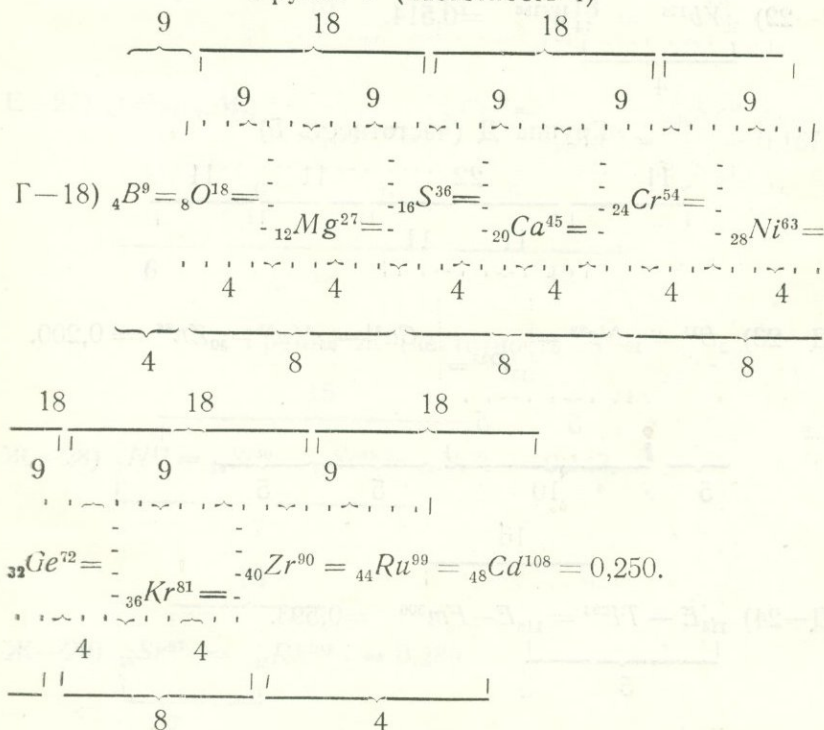
2 2 2 2 2

8 4





Группа Г (частотность 4)



$$\Gamma-19) \quad \begin{array}{c} \overbrace{70Yb^{174} = 74W^{184}}^{10} \\ \underbrace{\quad \quad \quad}_4 \\ 10 \end{array} = 0,486.$$

$$\Gamma-20) \quad \begin{array}{c} \overbrace{77Jr^{193} = 81Tl^{203}}^{10} \\ \underbrace{\quad \quad \quad}_4 \\ 10 \end{array} = 0,506.$$

$$\Gamma-21) \quad \begin{array}{c} \overbrace{98Cf^{246} = 102(No)^{256}}^{10} \\ \underbrace{\quad \quad \quad}_4 \\ 10 \end{array} = 0,510.$$

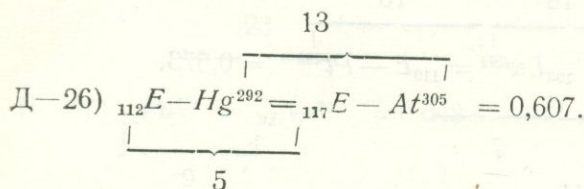
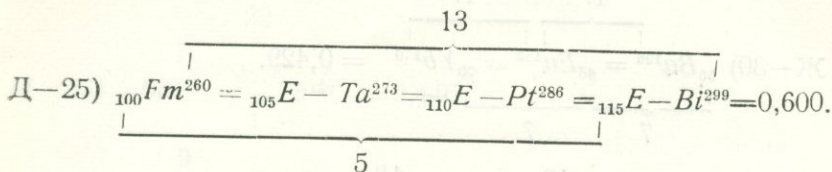
$$\Gamma-22) \quad \begin{array}{c} \overbrace{70Yb^{176} = 74W^{186}}^{10} \\ \underbrace{\quad \quad \quad}_4 \\ 10 \end{array} = 0,514.$$

Группа Д (частотность 5)

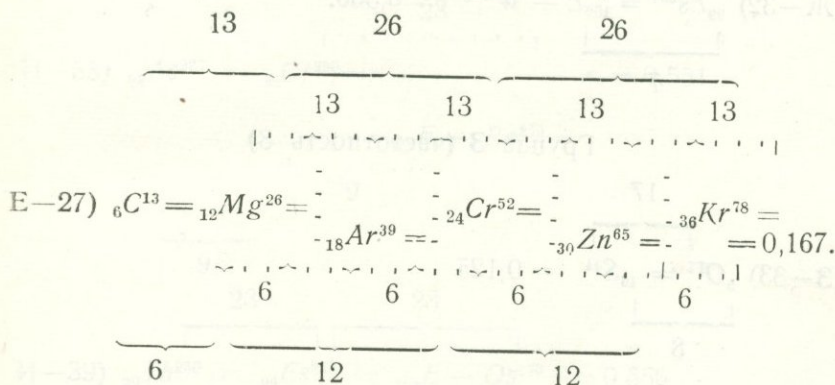
$$\begin{array}{ccccccc} 11 & & 22 & & 11 & & 11 \\ | & & | & & | & & | \\ \hline & & 11 & & 11 & & \\ | & & | & & | & & | \\ \hline \end{array}$$

$$Д-23) \quad \begin{array}{c} {}_5B^{11} = {}_{10}Ne^{22} = \overbrace{{}_{15}P^{33}}^{10} = {}_{20}Ca^{44} = {}_{25}Mn^{55} = {}_{30}Zn^{66} = 0,200. \\ \underbrace{\quad \quad \quad}_5 \quad \underbrace{\quad \quad \quad}_5 \end{array}$$

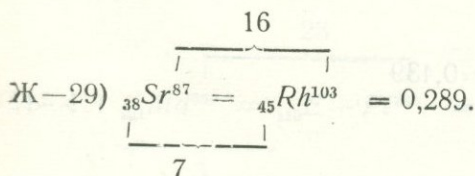
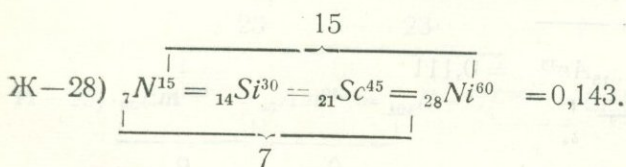
$$\begin{array}{c} \overbrace{113E - Tl^{293} = 118E - Em^{306}}^{13} \\ \underbrace{\quad \quad \quad}_5 \end{array} = 0,593.$$

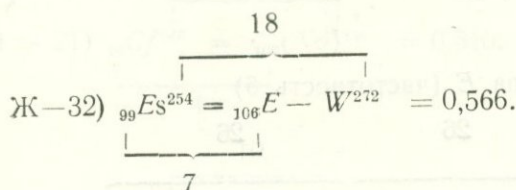
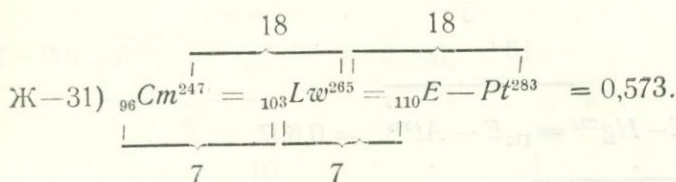
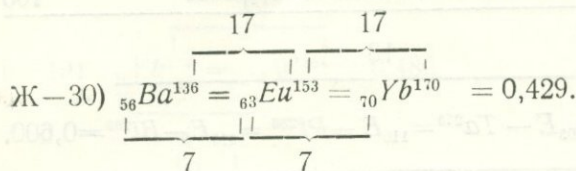


Группа E (частотность 6)

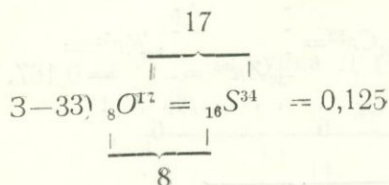


Группа Ж (частотность 7)

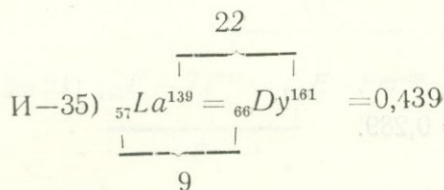
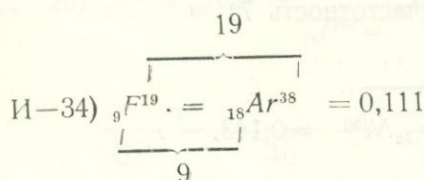




Группа 3 (частотность 8)



Группа И (частотность 9)



$$\text{И-36)} \quad \overbrace{{}_{56}\text{Ba}^{137} = {}_{65}\text{Tb}^{159}}^{22} = 0,446$$

9

$$\text{И-37)} \quad \overbrace{{}_{84}\text{Po}^{214} = {}_{93}\text{Np}^{237}}^{23} = 0,548$$

9

$$\text{И-38)} \quad \overbrace{{}_{89}\text{Ac}^{227} = {}_{98}\text{Cf}^{250}}^{23} = 0,551$$

9

23

107E - Re²⁷³ =

$$\text{И-39)} \quad \overbrace{{}_{90}\text{Th}^{230} = {}_{99}\text{Es}^{253}}^{23} = \overbrace{{}_{108}\text{E} - \text{Os}^{276}}^{23} = 0,556$$

9 9

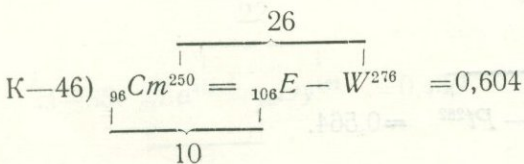
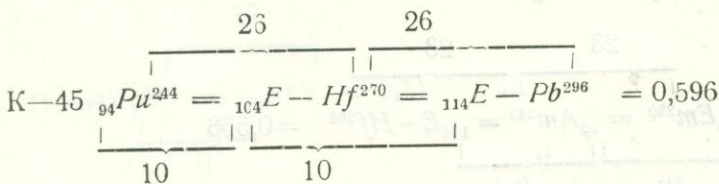
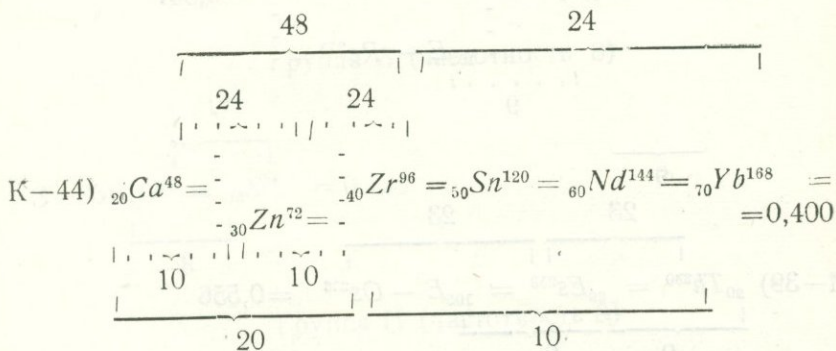
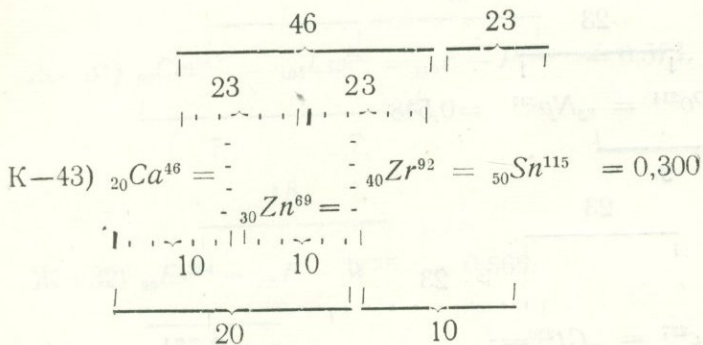
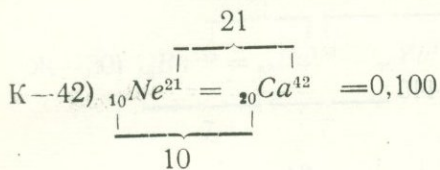
$$\text{И-40)} \quad \overbrace{{}_{86}\text{Em}^{220} = {}_{95}\text{Am}^{243}}^{23} = \overbrace{{}_{104}\text{E} - \text{Hf}^{266}}^{23} = 0,558$$

9 9

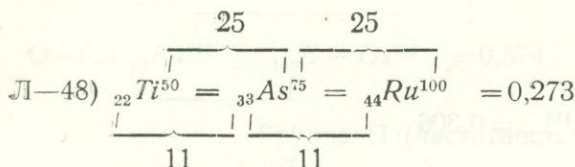
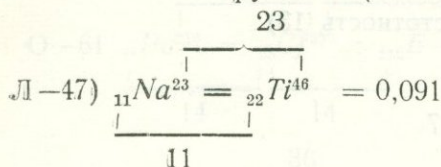
$$\text{И-41)} \quad \overbrace{{}_{101}\text{Md}^{259} = {}_{110}\text{E} - \text{Pt}^{282}}^{23} = 0,564.$$

9

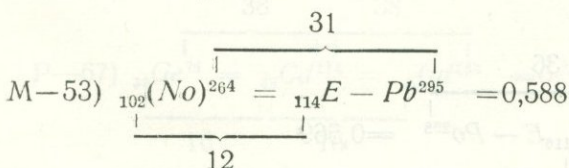
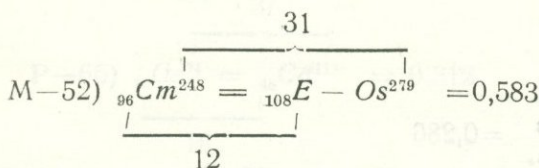
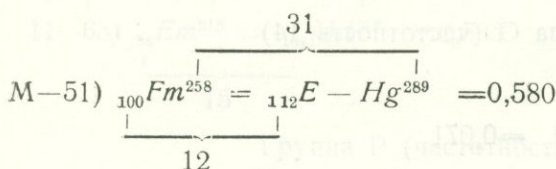
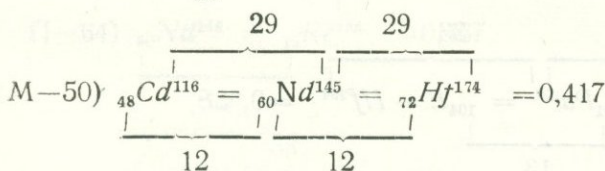
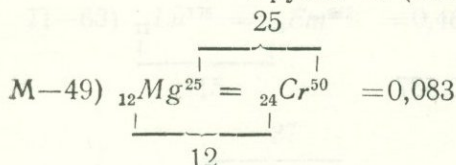
Группа К (частотность 10)



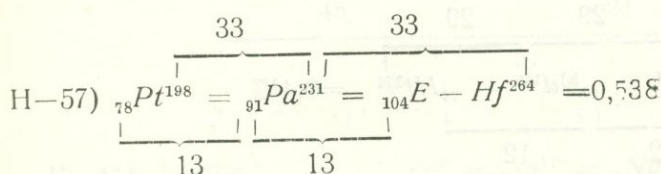
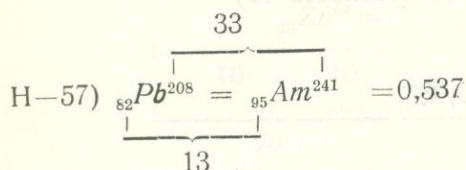
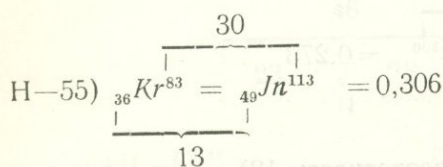
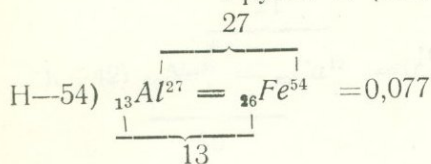
Группа Л (частотность 11)



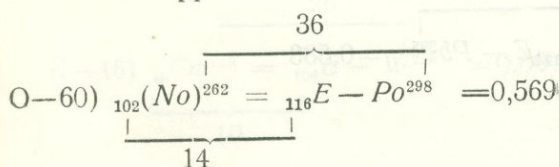
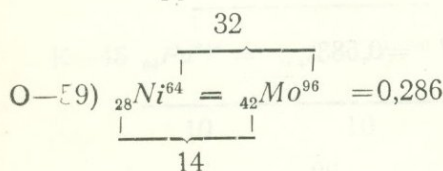
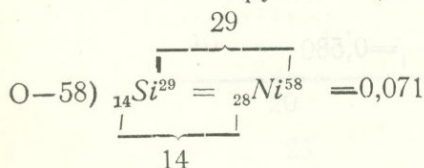
Группа М (частотность 12)

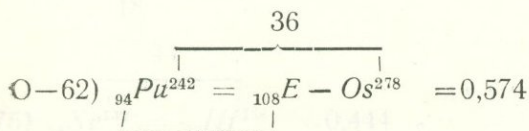
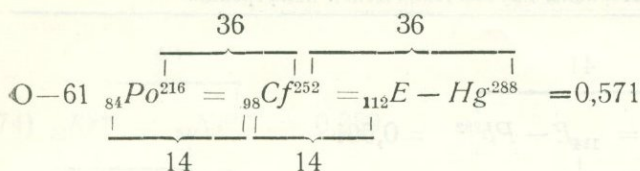


Группа Н (частотность 13)

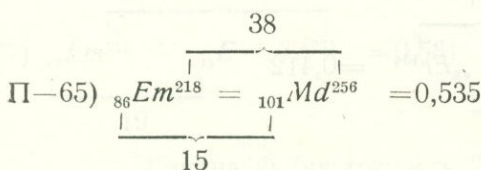
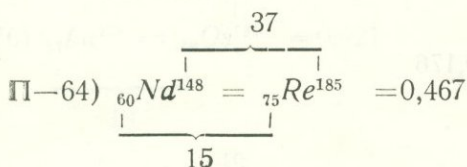
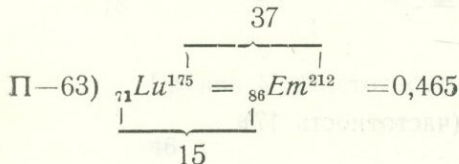


Группа О (частотность 14)

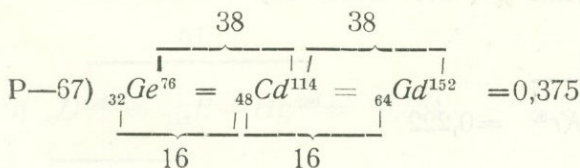
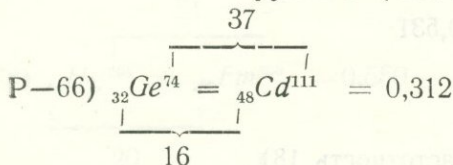




Группа П (частотность 15)



Группа Р (частотность 16)



$$P-68) \quad \underbrace{{}_{98}\text{Cf}^{251}}_{16} = \underbrace{{}_{114}\text{E} - \text{Pb}^{292}}_{41} = 0,561$$

$$P-69) \quad \underbrace{{}_{92}\text{U}^{236}}_{16} = \underbrace{{}_{108}\text{E} - \text{Os}^{277}}_{41} = 0,565$$

Группа С (частотность 17)

$$C-70) \quad \underbrace{{}_{17}\text{Cl}^{37}}_{17} = \underbrace{{}_{34}\text{Se}^{74}}_{37} = 0,176$$

$$C-71) \quad \underbrace{{}_{34}\text{Se}^{82}}_{17} = \underbrace{{}_{51}\text{Sb}^{123}}_{17} = \underbrace{{}_{68}\text{Er}^{164}}_{41} = 0,412$$

$$C-72) \quad \underbrace{{}_{81}\text{Tl}^{205}}_{17} = \underbrace{{}_{98}\text{Cf}^{248}}_{43} = 0,531$$

Группа Т (частотность 18)

$$T-73) \quad \underbrace{{}_{18}\text{Ar}^{40}}_{18} = \underbrace{{}_{36}\text{Kr}^{80}}_{40} = 0,222$$

$$\text{T-74)} \quad \begin{array}{c} 43 \\ \hline {}_{36}\text{Kr}^{86} = {}_{54}\text{Xe}^{129} \\ \hline 18 \end{array} = 0,339$$

$$\text{T-75)} \quad \begin{array}{c} 44 \\ \hline {}_{54}\text{Xe}^{132} = {}_{72}\text{Hf}^{176} \\ \hline 18 \end{array} = 0,444$$

Группа У (частотность 19)

$$\text{Y-76)} \quad \begin{array}{c} 46 \\ \hline {}_{57}\text{La}^{138} = {}_{76}\text{Os}^{184} \\ \hline 19 \end{array} = 0,421$$

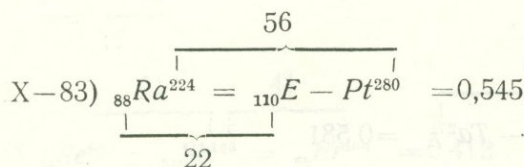
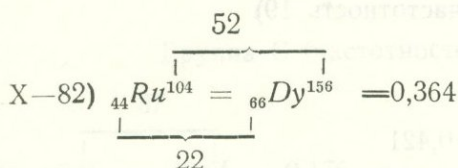
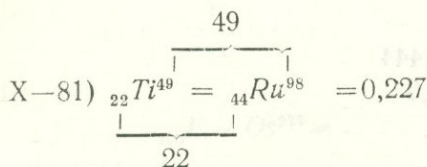
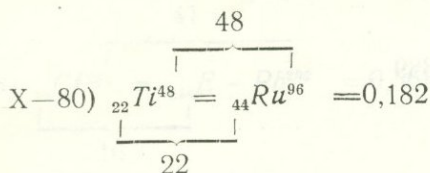
$$\text{Y-77)} \quad \begin{array}{c} 49 \\ \hline {}_{86}\text{Em}^{222} = {}_{105}\text{E} - \text{Ta}^{271} \\ \hline 19 \end{array} = 0,581$$

Группа Ф (частотность 20)

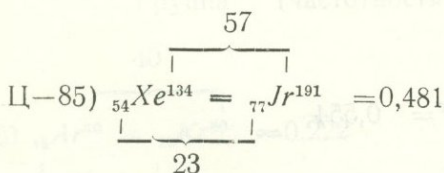
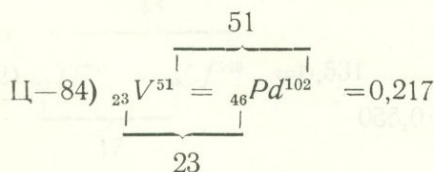
$$\text{Ф-78)} \quad \begin{array}{c} 51 \\ \hline {}_{80}\text{Hg}^{204} = {}_{100}\text{Fm}^{255} \\ \hline 20 \end{array} = 0,550$$

$$\text{Ф-79)} \quad \begin{array}{c} 51 \\ \hline {}_{92}\text{U}^{235} = {}_{112}\text{E} - \text{Hg}^{286} \\ \hline 20 \end{array} = 0,554$$

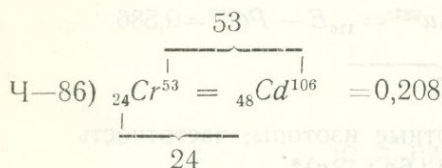
Группа X (частотность 22)



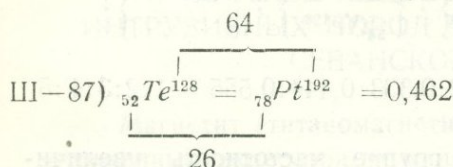
Группа Ц (частотность 23)



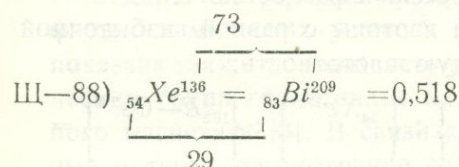
Группа Ч (частотность 24)



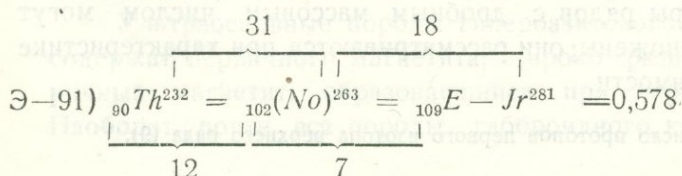
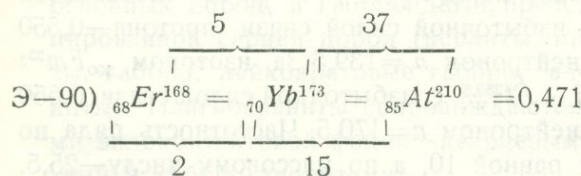
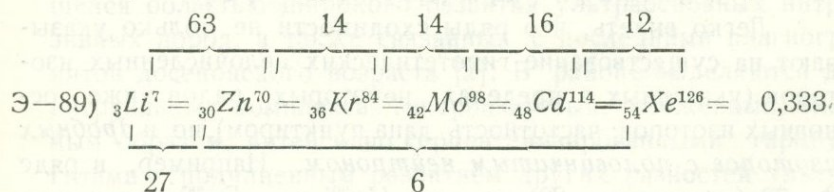
Группа Ш (частотность 26)

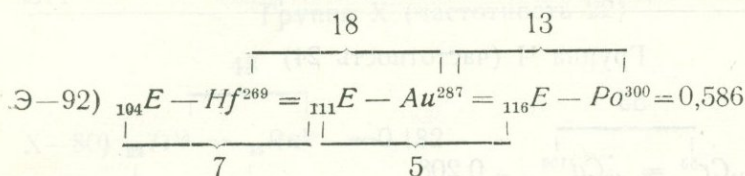


Группа Щ (частотность 29)



Неправильная группа Э (частотность смешанная)





Кратная группа Ю (инертные изотопы; частотность $1n : 2n : 4n : 6n : 12n$)*

$$\begin{aligned}
 \text{Ю-93)} \quad & \left\{ {}^9\text{F}^{19} \right\} : \left\{ {}^{18}\text{Ar}^{40} \right\} : \left\{ {}^{36}\text{Kr}^{84} \right\} : \left\{ {}^{54}\text{Xe}^{132} \right\} : \\
 & : \left\{ {}^{108}\text{E}-\text{Os}^{276} \right\} = 0,111:0,222:0,333:0,444:0,555 = 1:2:3:4:5
 \end{aligned}$$

Как видим, в Кратной группе частотность увеличивается в прогрессии кратной девяти, а избыточная сила связи—в арифметической прогрессии с разностью 1.

Внутри компонент ряда изотопы с равной избыточной силой связи имеют следующую частотность:

$$\begin{aligned}
 & \left\{ {}^9\text{F}^{19} \right\} : \left\{ {}^{18}\text{Ar}^{40} \right\} : \left\{ {}^{36}\text{Kr}^{84} \right\} : \left\{ {}^{54}\text{Xe}^{132} \right\} : \left\{ {}^{108}\text{E}-\text{Os}^{276} \right\} = \\
 & = \left\{ \frac{1}{2} \right\} : \left\{ \frac{1}{2} \right\} : \left\{ \frac{1}{1,5} \right\} : \left\{ \frac{1}{0} \right\} : \left\{ \frac{1}{0} \right\}.
 \end{aligned}$$

Легко видеть, что ряды сходимости не только указывают на существование гипотетических целочисленных изотопов (указанных в пределах некоторых рядов ниже основных изотопов; частотность дана пунктиром), но и *дробных изотопов с половинчатым нейтроном*. Например, в ряде Ф—78 (частотность 20) между ${}_{80}\text{Hg}^{204}$ и ${}_{100}\text{Fm}^{255}$ появляется ${}_{90}\text{Th}^{229,5}$ с такой же избыточной силой связи протона—0,550 и с половинчатым нейтроном $n=139,5$. За изотопом ${}_{100}\text{Fm}^{255}$ имеется изотоп ${}_{110}\text{E}-\text{Pt}^{280,5}$ с избыточной силой связи 0,550 и с половинчатым нейтроном $n=170,5$. Частотность ряда по протону становится равной 10, а по массовому числу—25,5.

Примеры рядов с дробным массовым числом могут быть приумножены; они рассматриваются при характеристике рядов сходимости.

* n — число протонов первого изотопа верхнего ряда (9).

С. А. ПАЛАНДЖЯН

О СОСТАВЕ АКЦЕССОРНОГО МАГНЕТИТА ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ СЕВАНСКОГО ХРЕБТА

Магнетит (титаномagnetит) является широко распространенным акцессорным минералом различных по составу магматических образований и, как показали исследования последних лет [4], может служить индикатором некоторых физико-химических условий кристаллизации пород. Была показана также возможность расчленения различных генетических групп гранитоидов на основании химизма акцессорного магнетита [3]. В связи с этим представляет определенный интерес рассмотрение состава магнетита интрузивных образований юго-восточной части Севанского хребта, являющейся областью широкого развития ультраосновных интрузивных пород, а также связанных с последними плагиогранитов досенонского возраста [2]. В районе выделяются два интрузивных комплекса: гипербазитовый, сложенный, главным образом, интенсивно серпентинизированными гарцбургитами с подчиненным развитием других разновидностей ультраосновных пород, и габброидный, представленный дифференцированной серией пород (верлиты, пироксениты-диопсидиты, габбро, лейкократовые габбро, анортозиты, плагиограниты). Плагиограниты сопровождаются гибридными породами эндоконтактовой фации—кварцевыми диоритами, диоритами и габбро-диоритами.

Ультраосновные породы гипербазитового комплекса не содержат первичного магнетита; широко развит в них вторичный магнетит, образовавшийся при серпентинизации. Наоборот, почти все породы габброидного комплекса со-

держат первичный магнетит в переменных количествах. При микроскопическом изучении в магнетитах из основных, средних и кислых пород устанавливаются пластинки ильменита, являющиеся результатом распада твердого раствора. В некоторых из указанных пород, наряду с магнетитом, наблюдаются также самостоятельные зерна ильменита. Данные, приведенные в таблицах 1 и 3, характеризуют изменение состава магнетита в зависимости от состава материнской породы. Химические анализы на TiO_2 , MnO , V_2O_5 произведены в химической лаборатории ИГН АН Армянской ССР (аналитики Т. Т. Авакян и В. А. Бабаян). Количественные спектральные анализы на германий произведены А. И. Карапетяном и Г. М. Мкртчяном. Данные таблицы 3 приводятся на основании приближенно-количественных анализов, выполненных под руководством Г. М. Мкртчяна.

Таблица 1

Содержание TiO_2 , V_2O_5 , MnO , Ge в магнетитах (%)

№№ обр.	П о р о д ы	TiO_2	V_2O_5	MnO	Ge
7a	Серпентинит	0,33	0,08	0,22	$1,0 \cdot 10^{-4}$
136	Пироксенит	0,33	0,03	0,19	—
96	Пироксенит	0,13	—	—	$0,6 \cdot 10^{-4}$
23	Габбро	6,10	0,18	0,39	$4,0 \cdot 10^{-4}$
43	Габбро	5,21	—	—	—
30a	Габбро-диорит	7,84	—	—	—
574a	Габбро-диорит	8,25	0,08	0,18	$2,6 \cdot 10^{-4}$
30	Плагиигранит	4,11	—	—	$3,5 \cdot 10^{-4}$
574	Плагиигранит	5,28	0,07	0,86	$4,8 \cdot 10^{-4}$
21	Микроплагиигранит	3,92	—	—	$5,0 \cdot 10^{-4}$

В распределении элементов-примесей в магнетитах наблюдаются определенные закономерности, кратко рассматриваемые ниже.

Титан. Вторичный магнетит, образующийся при серпентинизации гипербазитов (№ 7a, табл. 1), обладает низким содержанием элемента в материнских породах. Среднее содержание TiO_2 в гипербазитах северо-восточного по-

бережья оз. Севан, по данным 22 химических анализов, составляет 0,08%.

Среди пород габброидного комплекса наиболее низкими содержаниями TiO_2 характеризуются магнетиты пироксенитов, что также связывается с общим низким содержанием титана в породе. В габбро рассматриваемая величина резко возрастает. Обращает внимание обогащенность титаном магнетитов плагиогранитов. По данным Д. С. Штейнберга и В. Г. Фоминых [3], высокими содержаниями TiO_2 (до 5,3%) обладают магнетиты гранитных пород, генетически связанных с основной магмой, тогда как в породах гранитоидной магмы магнетит содержит менее 1% TiO_2 . Таким образом, особенности химизма магнетита подтверждают геологические наблюдения о генетической связи плагиогранитов района с габбровой магмой.

Как показывают данные таблицы 2, содержания титана в магнетите основных и кислых пород коррелируются с содержаниями титана в породах независимо от примерно равных количеств магнетита в них. Вместе с тем, при повышении железистости пород резко увеличивается роль титана, связанного в магнетите, в общем балансе по породе, так как, параллельно уменьшению содержания цветных минералов, практически все железо и титан концентрируются в магнетите.

Таблица 2

Роль титана, связанного в магнетите, в некоторых породах габброидного комплекса в зависимости от изменения железистости

Породы	Ср. содержание TiO_2 в породе, %	Ср. содержание TiO_2 в магнетите, %	Ср. содержание магнетита в породе, %	% TiO_2 породы, приходящее на магнетит	f
Пироксениты	0,38	0,23	3,2	4	0,4
Габбро	0,56	5,65	3,5	34	0,6
Габбро-диориты	0,70	8,05	6,5	59	0,6
Микроплагиогранит	0,23	3,92	3,2	71	0,7
Плагиограниты	0,43	4,70	2,3	82	0,8

$$f (\text{железистость}) = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) : (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}).$$

А. Ф. Баддингтон и др. [4] установили определенную зависимость между содержанием титана в титаномагнетите и температурой кристаллизации пород.

Используя эти данные, температуру кристаллизации основных и кислых пород габброидного комплекса можно оценить в 700—850°.

Определение температуры кристаллизации пироксени-тов в данном случае не представляется возможным, так как отсутствуют существующие с магнетитом самостоятельные выделения ильменита, то есть система не была насыщена титаном.

Ванадий. Обращают внимание пониженные содержания ванадия по сравнению с магнетитами габброидных пород Урала [3]. Определенной зависимости между содержаниями титана и ванадия в магнетитах не наблюдается; наиболее обогащен ванадием магнетит из габбро.

Марганец. Наблюдается увеличение содержания марганца в магнетитах от пироксенита через габбро к плагиограниту. Однако эта закономерность нарушается низкой величиной марганца в магнетите из гибридного габбро-диорита.

Таблица 3

Содержания некоторых элементов в магнетитах, по данным спектрального анализа (в %)

П о р о д ы	Колич. анализов	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Ga
Серпентиниты . .	4	≥1	0,3	0,02	0,005	0,02	<0,001
Пироксениты . .	2	0,06	0,06	0,008	0,007	0,01	не обн.
Габбро	5	0,1	0,15	0,02	0,02	0,05	0,001
Габбро-диориты .	3	0,03	0,02	0,001	0,01	0,03	0,002
Плагиограниты .	4	0,001	0,002	не обн.	0,01	0,01	0,003

Германий. Содержания германия в магнетитах основных и кислых пород значительно выше, чем в ультраосновных. Наблюдается некоторая зависимость между содержаниями германия и титана, с отдельными отклонениями (габбро-диорит, микроплагиогранит). В. В. Ляхович [1] отмечает, что в связи со структурным родством GeO_2 и TiO_2 германий может накапливаться в ильменитсодержащих магнетитах.

Спектральным анализом в магнетитах почти постоянно обнаруживаются примеси Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Ga (таблица 3). Первые три элемента проявляют тенденцию накапливаться в магнетитах ультраосновных и основных пород; наоборот, содержания галлия, минимальные в магнетите ультраосновных пород, увеличиваются в габбро-диоритах и плагиогранитах.

Таким образом, приведенные данные показывают закономерные изменения состава акцессорного магнетита различных по кислотности пород, связанные с эволюцией химизма расплава. Высокие содержания титана в магнетитах плагиогранитов и габбро-диоритов являются дополнительным свидетельством в пользу их генетической связи с габбровой магмой.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. В. Ляхович. Некоторые данные о составе акцессорного магнетита. Тр. ИМГРЭ, вып. 3, 1959.
2. С. А. Паланджян. К геологии ультраосновных и основных интрузивных пород северо-восточного побережья оз. Севан. Изв. АН АрмССР науки о Земле, XVIII, № 1, 1965.
3. Д. С. Штейнберг и В. Г. Фоминых. Состав акцессорного титаномагнетита в различных генетических типах гранитоидов Урала. ДАН СССР, 139, № 5, 1961.
4. A. F. Buddington, J. Fahey, A. Vlisidis. Thermometric and petrogenetic significance of titaniferous magnetite. Amer. J. Sci., 253, № 9, 1955.

С. А. ПИРУЗЯН

МЕТОД УТОЧНЕНИЯ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ БАЛЬНОСТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МИКРОСЕЙСМОРАЙОНИРОВАНИЯ И ДЕТАЛЬНОГО СЕЙСМОРАЙОНИРОВАНИЯ

Сейсмическое микрорайонирование обуславливается по следовательным проведением следующих двух операций [2]-

а) Определение исходной сейсмической бальности, отнесенной к определенным грунтовым условиям местности и типам сооружений в пределах определенного сейсмоактивного региона;

б) Определение приращения сейсмической бальности ожидаемых землетрясений для разновидностей грунтовых условий в пределах ограниченной территории застройки по отношению к грунтовым условиям, характеризующим исходную бальность. Настоящее сообщение касается методики приведенных исследовательских работ по определению и уточнению исходной сейсмической бальности.

1. Методика исследований

Имеющиеся в сводных каталогах микросейсмические данные о разрушительных землетрясениях прошлого, легшие в основу опубликованных мелкомасштабных сейсмических карт, в большинстве случаев отражают величину сейсмической бальности, отвечающей не средним грунтовым условиям эпицентральной области, а именно наихудшим грунтовым условиям эпицентральной области и определенным типам сооружений (максимальный балл). Если же это — данные далекого исторического прошлого, то часто они завышены и при их использовании без специальных

работ по уточнению величин интенсивности сотрясений, сейсмический фон для данного района на карте будет искажен в сторону увеличения*.

Поэтому мы поставили задачу при осуществлении сейсмического микрорайонирования предварительно уточнять, там, где это возможно, исходную сейсмическую бальность и отнести ее к реальным, конкретным грунтовым условиям местности и типам сооружений [8, 2]. Это требование включено и в „Инструкцию по сейсмическому микрорайонированию“.

Реальная возможность проведения указанных работ имеется для тех сейсмоактивных областей, которые располагают богатым сейсмостатистическим материалом и где имеются древние сооружения, перенесшие сильные землетрясения. В СССР к числу таких областей относятся, например, Армения, Грузия, Азербайджан, Крым, Закарпатье, некоторые районы Среднеазиатских республик и др. Предложение о возможности уточнения исходной сейсмической бальности путем изучения древних сооружений впервые высказано А. Н. Сафаряном [6].

Разработанный нами под руководством А. Г. Назарова, метод уточнения интенсивности сильных землетрясений прошлого предусматривает комплекс полевых и камеральных исследований. Они заключаются в обследовании древних сооружений эпицентральной области с инженерно-геологической точки зрения, определении динамических (спектральных) характеристик сооружений и грунтов их оснований в натуре и аналитических расчетов сооружений на сейсмостойкость.

Исследования в этом направлении нами проводились в трех различных районах республики в 1960—1963 г.г., в связи с работами по составлению крупномасштабных карт микросейсморайонирования территории Разданского горно-химического, Зодского горно-рудного комбината и столицы республики г. Еревана.

* В преданиях или летописях ущерб, вызванный стихийными бедствиями, обычно преувеличивается.

Целью этих исследований было уточнение исходной сейсмической бальности районов названных территорий, привязанных к определенным грунтовым условиям и типам сооружений.

В качестве одной из основных рабочих гипотез было принято, что среднюю сейсмическую активность можно считать стабильной за последние несколько сот лет, и что землетрясение максимальной интенсивности, имевшее место в данном районе в историческом прошлом, может повториться в ближайшие 100—200 лет (срок эксплуатации наиболее капитальных сооружений).

С точки зрения хода геолого-тектонического развития области это равносильно гипотезе стабильности, направленности и интенсивности современных тектонических движений, что охватывает промежуток времени, исчисляющийся многими тысячелетиями.

Наша задача облегчалась тем, что по Армении имеются статистические данные о разрушительных землетрясениях за промежуток времени более 1000 лет, а страна богата древними сооружениями, датированными IV—VII, X—XII и более поздними веками.

2. Районы Разданского и Зодского комбинатов

Территория Разданского горно-химического комбината находится в зоне границы в 7 и 8 бальной сейсмичности на действующей мелкомасштабной карте сейсмрайонирования СССР*. Это обстоятельство дополнительно побудило нас уточнить исходную сейсмическую бальность, прежде чем приступить к микросейсмрайонированию. С этой целью были изучены геологотектонические и сейсмические условия района строительства радиусом 30—40 км. Выяснилось, что в районе строительства наиболее сильным, по данным

* Именно в зоне границы, поскольку по масштабу опубликованной карты одному сантиметру соответствует более 100 км.

Е. И. Бюса, было Цахкадзорское землетрясение 1827 г. интенсивностью в 8 баллов. Имели место еще два 6—7 бальных землетрясения на северо-западном побережье оз. Севан и значительное количество 4 и 5-бальных землетрясений.

Мы уже говорили, что на карте сейсморайонирования 1940 г. этот район находился в 7-бальной зоне и Е. И. Бюс ранее считал землетрясение 1827 г. 6—7 бальным. В последний каталог Е. И. Бюса это землетрясение включено как 8-бальное после опубликования В. А. Степаняном в 1942 г. перевода выдержки из книги французского путешественника Ф. Дюбуа, который, проезжая по Армении через 7 лет после землетрясения (1834 г.), подробно описал этнографические особенности территорий, пролегающих по его маршруту, и мимоходом, касаясь этого землетрясения, писал: „В ноябре 1827 г. случилось большое землетрясение в значительной части Армении, и так потрясло, что упал купол Качарисского монастыря, а также разрушились многие церкви в районе Гокча“*.

В своей монографии по региональной геологии А. Т. Аслэнян, касаясь этого землетрясения в связи с описанием разломов, указывает, что оно имело, вероятно, интенсивность порядка 5—6 баллов, а падение купола монастыря есть результат резонанса. При этом он не приводит соображений, обосновывающих эту мысль.

Теперь обратимся к другим литературным источникам, видимо, ранее неизвестным.

В каталогах армянских землетрясений Ованеса Епископа Шахатунянца, известного в армянской историографии объективностью изложения фактов, и Карапета Костанянца приведены данные о том, что при этом „не сильном“ землетрясении разрушился купол Качарисского монастыря и уже расшатанная церковь монастыря Уши. Книга архиепископа Смбатянца, посвященная местоописанию округа Гегаркуни, также отвергает версию Дюбуа о каком-либо крупном землетрясении, происшедшем в 1827 г. в этом районе.

* Искаженное название оз. Севан.

Нам не удалось найти сведения о разрушительном землетрясении ни в периодических изданиях начала 30-х годов прошлого столетия (Тбилисские газеты, Труды Императорского географического общества), ни в архивах Кавказского наместника. Ведь 8-бальное землетрясение не могло бы остаться незамеченным в такой густо населенной области во времена, не так уж отдаленные от нас.

Для уточнения интенсивности этого землетрясения в сентябре—октябре 1960 г. нами было предпринято экспедиционное обследование его эпицентральной области. Полевому обследованию предшествовала трудоемкая работа по сбору и систематизации историко-археологических данных о древних сооружениях района, их обмерно-архитектурных чертежей, уточнению датировки этих сооружений и их „биографии“.

Было обследовано 13 древних сооружений и изучены инженерно-геологические условия участков их расположения в 8 населенных пунктах района, в том числе монастырь Кечарис в с. Цахкадзор.

В процессе обследования выяснилось состояние сооружения, наличие следов сейсмических воздействий, литологическая характеристика грунтов оснований для всех сооружений, путем проходки специальных шурфов или осмотра естественных обнажений и строились грунтово-геологические разрезы через участки древних сооружений по характерным профилям. Все церкви возведены на скальном основании (крепкие андезито-базальты) на террасе глубокого ущелья.

Сопоставление материалов полевого обследования с имеющимися историко-археологическими данными показало, что в результате землетрясения подвергались существенному разрушению лишь две наиболее массивные (следовательно, более жесткие) церкви—имени св. Григория и св. Католикке. У первой упал купол крупных размеров вместе с барабаном и образовалась большая сквозная трещина по всей высоте вдоль длинной оси сооружения, у второй разрушился купол вместе с частью кладки барабана. Две другие церкви монастыря относительно маленькие и вытянутые,

(следовательно, более гибкие), а именно—св. Арутюна и св. Ншана вовсе избежали сейсмических повреждений*. Все церкви монастыря аналогичны по конструкции и применявшимся строительным материалам и датированы XII—XIII веками. Выяснилось, что при землетрясении оставались в сохранности церковь Макраванк в с. Макраван (в 2-х км ЮВ с. Цахкадзор), церкви в сс. Бжни, Арзаканд, Меградзор и др., а также три церкви на острове оз. Севан. Об этом свидетельствуют также историко-археологические данные и подробные описания церквей и фотодокументы, приведенные в работах Е. Лалаяна, изданных в начале текущего столетия. Церковь Макраванк находится в одноименном селе в 2—3 км к юго-востоку от пос. Цахкадзор (монастырь Кечарис). Церковь возведена в XIII веке, на склоне горы и фундаментована на делювиальных суглинках. По конструкции и примененным строительным материалам она аналогична церквям монастыря Кечарис. При землетрясении 1827 г. церковь не получила заметных сейсмических повреждений.

На острове Севан (в 25 км к ВЗВ от с. Цахкадзор) еще в начале текущего столетия существовали три церкви и несколько гражданских построек, подробно описанных Е. Лалаяном. Церкви Аракелоц, св. Карапета и св. Аствацацин основаны в 874 г. при настоятеле монастыря Вардапете Маштоце на средства царицы Мариам. Первые две возведены на вершине холма, на скальном основании. Церковь св. Аствацацин и другие гражданские постройки (дом настоятеля монастыря, складские и жилые помещения, церковная школа) были построены на юго-восточной равнинной части острова на озерных и делювиальных отложениях. Часовня церкви построена в 1897 г. Все гражданские и церковные здания монастыря Севан хорошо сохранились до наших дней**.

* У церкви св. Ншана частично разрушился юго-восточный угол каменного покрытия купола. Церковь св. Арутюна расположена в 80 км к западу от остальных трех.

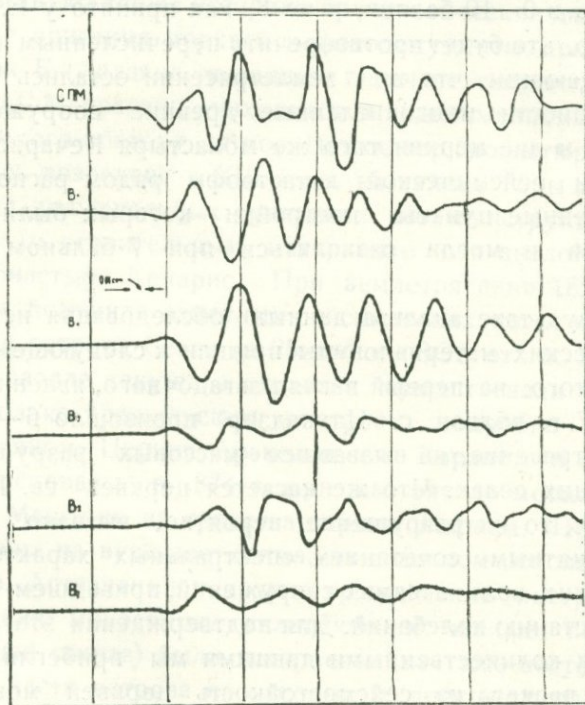
** Некоторые из этих зданий, расположенных в равнинной части острова, были снесены в начале 30-х годов в связи со строительством корпусов дома отдыха.

Изложенное показывает, что версия Ф. Дюбуа о разрушении многих церквей в районе оз. Севан в 1827 г. также не обосновано. Если к двум разрушенным церквям монастыря Кечарис применить сейсмическую шкалу ГОСТ 6249—52 или нашу „Шкалу древних сооружений“, то, учитывая весьма хорошее качество и прочность армянских церквей, интенсивность землетрясения 1827 г. придется оценить в 9—10 баллов, а не 8, как принято у Е. И. Бюса. Однако, это будет противоречить перечисленным фактам, подтверждающим, что при землетрясении остались в полной сохранности многочисленные древние сооружения (в том числе и две церкви того же монастыря Кечарис), и не претерпели сейсмической катастрофы рядом расположенные населенные пункты, постройки которых были низкого качества и могли развалиться при 7-бальном сотрясении.

В результате анализа данных обследования историко-археологических материалов мы пришли к следующему объяснению этого, на первый взгляд загадочного, явления: в октябре 1827 г. вблизи с. Цахкадзор произошло 6—7-бальное землетрясение, не вызвавшее массовых разрушений в близлежащих селах. Что же касается церквей св. Григора и Катогике, то их разрушение, вероятно, вызвано особым неблагоприятным сочетанием спектральных характеристик сейсмических волн и самих сооружений, приведшем к сильному нарастанию колебаний. Для подтверждения этого предположения количественными данными мы прибегли к производству расчета на сейсмостойкость церквей монастыря Кечарис, предварительно поставив экспериментальные работы по натурным измерениям их динамических характеристик. Были определены период свободных колебаний и логарифмический декремент затухания церкви Катогике, по данным регистрации колебаний пяти точек по высоте, где были установлены вибрографы (один из них был установлен на скальном грунте рядом с фундаментом). Работы проводились по методу МИКС [11] с использованием идентифицированной аппаратуры, состоящей из комплекта вибрографа ВЭГИК, гальванометров ГБ-III и осциллографа ПОБ-12.

Образец записи свободных колебаний церкви, вызванных ударом, приведен на фиг. 1.

Для остальных трех церквей периоды свободных колебаний (для основного тона) подсчитывались по подходящей эмпирической формуле, полученной исследователями для каменных сооружений [12]. Линейные размеры церквей при этом брались из архитектурных-обмерных чертежей



Фиг. 1. Образец записи свободных колебаний церкви Католик монастыря Кечарис.

церквей монастыря Кечарис. Фотокопии двух из них, а также снимок общего вида трех церквей монастыря приведены на фиг. 2—3. Полученные значения периодов свободных колебаний, линейные размеры и краткая характеристика сейсмических повреждений церквей монастыря Кечарис при землетрясении 1827 г. сведены в табл. 1.

Таблица 1

Название церкви	Размеры в метр.			Период свобод. колеб. T_0 (сек)	Краткая характеристика разрушений
	длина	ширина	высота		
св. Григор	2,07	13,3	29	0,064	Разрушен купол с барабаном а также верхняя часть южной и западной стен. Образовалась сквозная трещина по всей высоте вдоль продольной оси сооружения.
Катогике	12,8	10,0	20	0,066	Разрушен купол с частью барабана. Стены в сохранности.
св. Ншан	6,7	4,5	13	0,074	Частично разрушен угол верхней части покрытия купола. Купол с барабаном и стены в сохранности.
св. Арутюн	7,0	4,6	15	0,11	В полной сохранности. Отсутствуют какие-либо сейсмические повреждения.

Как видно из таблицы, все церкви являются весьма жесткими сооружениями с очень малым затуханием по сравнению с эксплуатируемыми у нас ныне обычными гражданскими сооружениями.

Среди приведенных в табл. 1 церквей наиболее жесткой является церковь св. Григора ($T_0=0,64$ сек); далее идут церкви Катогике и св. Ншана. Наиболее гибкой является церковь св. Арутюна. В такой же последовательности располагаются церкви по степени происшедших при землетрясении разрушений. Период свободных колебаний церкви св. Григора, подвергшейся максимальным разрушениям почти в два раза меньше периода свободных колебаний церкви св. Арутюна, не получившей никаких повреждений.

Таким образом, очень жесткие древние сооружения (церкви св. Григора и Катогике), возведенные на массивном скальном основании, потерпели большие разрушения, тогда как относительно гибкие (церкви св. Арутюна и св. Ншана), или очень жесткие сооружения (церковь Мака-

ванк)*, но на податливом основании не получили почти никаких повреждений.

Попытка объяснить это явление с физической точки зрения приводит нас к мысли, что для весьма жестких древних сооружений, основанных на скале при данном землетрясении имело место сильное нарастание колебаний, близкое к явлению резонанса. Это равносильно тому, что при землетрясении в скальных породах эпицентральной области проявились (возможно были преобладающими) интенсивные высокочастотные колебания с частотой порядка 15—16 герц. Для проверки этого предположения мы решили произвести расчет на сейсмостойкость для трех церквей Кечариса, а именно: св. Григора, Катогики (разрушены) и церковь св. Арутюна (в сохранности), пользуясь полученными для них величинами периодов свободных колебаний и логарифмического декремента затухания. Расчет осуществлялся на основе существующих нормативных документов по обычной методике проверки на прочность каменных конструкций при сейсмических импульсивных воздействиях.

При расчете церкви рассматривались как жестко заделанный в основание брус переменного сечения с двумя сосредоточенными массами по высоте, приходящимися на уровень тяжести 1 и 2 ярусов церквей.

Сначала был произведен расчет для нормального случая, т. е. без учета спектрального состава колебаний почвы (резонанс отсутствует; $\beta=3$). Расчет показал, что при землетрясении интенсивностью в 9 баллов ($K=1/10$) и менее нормальные и растягивающие напряжения, возникающие в конструкциях всех трех церквей, оказались по величине значительно меньше нормальных, т. е. при этом не обнаруживаются даже трещины.

* Оценка величины периода свободных колебаний церкви по эмпирической формуле с учетом значительного увеличения безразмерного коэффициента K на мягких грунтах по сравнению с базальтами, полученного Б. К. Карапетяном при изучении колебаний каменных сооружений в г. Ереване, дает значение 0,074. Но податливое основание церкви при сейсмических воздействиях должно привести к существенному увеличению (не менее 2 раз) периода свободных колебаний, т. е. он достигает значения порядка 0,14 сек.

Затем было допущено, что при данном землетрясении в скальном основании церквей монастыря возникли колебания с периодом порядка 0,06—0,07 сек (частота 16—17 герц), т. е. церкви св. Григора и Катогике попали в условия резонанса или близкое ему состояние, что практически возможно, поскольку они имеют малое затухание ($\delta = 0,12$). Воспользуясь известными соотношениями между динамическими коэффициентами β (или коэффициентами нарастания), частотами свободных и вынужденных колебаний и декрементом затухания упругой системы, при этом условии [12], мы подсчитали значение β для всех церквей.

Для церквей св. Григора и Катогике получилось $\beta = 20$, для церкви св. Арутюна $\beta = 0,8$.

Расчет на сейсмостойкость при полученных значениях динамического коэффициента показал, что в конструкциях церквей св. Григора и Катогике при изгибных колебаниях образуются сквозные трещины, и наступает хрупкое разрушение при интенсивности землетрясения в 6,5 баллов ($K_c = 1/60$). Для церкви св. Григора растягивающие напряжения в верхнем сечении получаются превышающими нормативные уже при интенсивности сотрясения в 6 баллов ($K_c = 1/40$). Но если учесть, что вряд ли мы по всей толщине кладки имеем одинаково высокую марку раствора 50 (которая была взята в качестве расчетной), и что вряд ли в горизонтальных швах кладки по всей ее толщине имеем одинаково хорошее нормальное сцепление, то приходим к выводу, что церкви Катогике и св. Григора претерпевают деформации разрушения при интенсивности землетрясения в 6 баллов, при принятом спектральном составе колебания почвы. В отношении церкви св. Арутюна, при том же допущении (здесь уже $\beta = 0,8$) получилось, что она без каких-либо деформаций выдерживает не только сотрясения интенсивностью в 6—7 баллов, но и намного сильнее сейсмические толчки.

Таким образом, расчет подтвердил, что разрушения церквей св. Григора и Катогике были результатом наличия в спектре колебаний скального основания высоких частот (15—16 герц), совпадающих с частотами их собственных

колебаний при 6-бальной интенсивности землетрясения*, а это означает, что в эпицентре интенсивность землетрясения 1827 г. на массивных андезито-базальтах была в пределах 6 баллов. Следовательно, можно считать, что на делювиальных суглинках, распространяющихся на территории с. Цахкадзор, интенсивность землетрясения не превышала 7 баллов. Это согласуется с имеющимися историческими данными о том, что при этом землетрясении каменные и каменно-деревянные жилые дома в с. Цахкадзор не получили больших (массовых) разрушений**.

То обстоятельство, что не было заметных разрушений и в соседних селах (каменные дома туземного типа) говорит о том, что фокус землетрясения имел поверхностное заложение (интенсивность не превышала 6 баллов).

Таким образом, можно считать установленным, что в октябре 1827 г. вблизи села Цахкадзор произошло землетрясение интенсивностью 6—7 баллов. На скальных породах интенсивность проявилась в 6 баллов, на делювиальных суглинках она достигала 7 баллов. Разрушение весьма жестких сооружений и одновременно наличие уцелевших гибких сооружений при одинаковых условиях фундирования можно объяснить и с точки зрения разработанной А. Г. Назаровым теории воздействия на жесткие сооружения кратковременных, но очень интенсивных сейсмических импульсов (теория сейсмического удара и толчка).

На основе изложенного, а также имеющихся сейсмо-статистических данных за 1000 лет и данных по сейсмо-тектонике мы пришли к заключению, что для района Разданского комбината интенсивность землетрясений не превышает 7 баллов для обычных гражданских сооружений, возведенных на глинисто-суглинистых грунтах. Это и являлось уточненной исходной бальностью района и служило отправным пунктом при производстве сейсмического микрорайониро-

* Т. е. в общих чертах подтвердилось предположение, высказанное А. Т. Асланяном.

** Дома эти смешанной конструкции. Цоколь—из рваного камня на земляном растворе, бельэтаж—из деревянных несущих стен без обвязки по периметру с двускатной крышей (часто без обвязки стропил). Качество исполнения работ неважное.

вания территории комбината, ГРЭС и других промышленных объектов.

По аналогичной методике была уточнена исходная сейсмичность и для района Зодского комбината. Задача в этом случае осложнялась тем, что в Басаргечарском районе имеется меньше населенных пунктов и, стало быть, меньше древних сооружений и относительно скудная сейсмостатистика. Тем не менее, удалось установить, что в этом районе, в средних грунтовых условиях (четвертичные отложения при отсутствии высокого уровня грунтовых вод), интенсивность землетрясений, вероятно, может достигать максимум до 7 баллов. Таким образом, для этого района подтвердилась бальность (с некоторым запасом), помеченная на карте сейсморайонирования СССР.

3. Район города Еревана

Город Ереван расположен на юге Малого Кавказа, на северной окраине Араратской долины, наиболее сейсмоактивной области Армянской ССР. Для Приереванского района существует богатая сейсмостатистика, охватывающая по крайней мере период времени с IX по XX столетие. Район очень богат древними сооружениями, возведенными в основном в I—IV, VII—IX и XII—XIII веках.

Для изучения сейсмоактивности и на этой основе уточнения исходной сейсмической бальности района была взята территория вокруг города Еревана радиусом 60 км*. По литературным и архивным источникам были собраны данные о 53 землетрясениях интенсивностью от 3—4 до 8 баллов, происшедших в пределах Большого Ереванского района за 1100 лет. Привлекая историко-археологические материалы, а в ряде случаев прибегая к обследованию эпицентральных зон землетрясений прошлого, была уточнена интенсивность некоторых сильных землетрясений (6—8 баллов) путем привязывания ее к определенным грунтовым условиям и типам сооружений.

* Вернее, квадрат вокруг Еревана со стороной 60 км, названный нами Большим Ереванским районом.

По имеющимся микросейсмическим данным за все известное время наиболее сильным землетрясением в Большом Ереванском районе, вызвавшем максимум разрушений в городе Ереване и его окрестностях, было землетрясение 1679 г. В каталоге Е. И. Бюса оно отмечено как 8-бальное. Наши историки и летописцы XVII века, а также путешественники европейцы оставили весьма подробные описания последствий землетрясения, хотя и не без элементов преувеличения. Эти описания особенно ценны тем, что в них приводятся примеры разрушений и повреждений конкретных объектов, в частности, древних сооружений. Так, например, по данным названных литературных источников, при Ереванском землетрясении 1679 г. разрушились храм Трдатакерт и крепость в Гарни; монастыри Авуц-тар, Ахчоц-ванк, Гегард; церкви Дзагаванк, Джрвеж, Красный мост; крепость и три церкви в Ереване, монастырь Хор-Вирап; населенные пункты Гямрез, Норк, Канакер, Дзорагюх и др.

Ознакомление с историческими, этнографическими и архивными материалами показало, что при этом землетрясении далеко не все древние сооружения данного района оказались разрушенными. Избежали разрушений и жертв многие населенные пункты.

Летом 1960 г. было предпринято инженерно-геологическое обследование эпицентральной области землетрясения 1679 г. Целью экспедиционных работ было определение местоположения эпицентра, выяснение характера воздействия землетрясения на отдельные типы древних сооружений, а также уточнение интенсивности проявления землетрясения в отдельных инженерно-геологических зонах на территории г. Еревана. Предварительно были добыты архитектурно-обмерные чертежи почти всех древних сооружений, уточнена их датировка*, история реставрационных работ, а также осуществлен расчет на сейсмостойкость для

* Нужно было исключить из обследования сооружения, построенные после 1679 г. В деле приобретения архитектурно-обмерных чертежей большую помощь оказал архитектор Ю. А. Таманян, которому мы приносим нашу благодарность.

некоторых из них. Было обследовано на месте с инженерно-геологической точки зрения 13 древних сооружений и территории нескольких населенных пунктов как разрушенных при этом землетрясении, так и сохранившихся.

Мы предприняли также поиски и нашли карту древнего Еревана (XVII—XIX веков), с нанесенными на ней древними сооружениями. Карта эта была издана Гевондом Алишаном в Венеции в 1890 г. Согласно историческим данным, при этом землетрясении в Ереване разрушились три церкви—св. Геворка в Дзорагюхе, св. Ованеса в Конде и св. Зоравор в Нор-таге. Нами было установлено, что в 1679 г. в Ереване были еще три церкви, которые не разрушились, а получили лишь повреждения, а именно: церкви—двух-престольная св. Ншана, св. Погос-Петроса и Катогике. Удалось также установить, что при землетрясении остался в полной сохранности мост через р. Гедар, который эксплуатировался до последних времен, и высокая башня (вероятно, мавзолей) на правом берегу р. Раздан, напротив Дзорагюха. Сопоставление местоположений древних сооружений с инженерно-геологической картой центральной части современного города позволило уточнить грунтовые условия разрушенных и оставшихся в сохранности церквей и других древних сооружений г. Еревана. Аналогичным сопоставлением выяснены грунтовые условия всех обследованных древних сооружений. В результате сводки и анализа всего фактического материала мы пришли к следующему выводу:

а) Эпицентр землетрясения 1679 г. находился в 25 км к ВЮВ от г. Еревана, в треугольнике между монастырями Айриванк (Гегартаванк), Ахчоц-ванк и языческого храма Трдатакерт в Гарни (наибольшие разрушения);

б) При землетрясении разрушились весьма жесткие древние сооружения, возведенные на скальных основаниях языческий храм Трдатакерт в Гарни, монастыри Авуц-тар, Ахчоц-ванк, Гегарета-ванк, церковь Аствацацин в Джрвеже, Дзагаванк, монастырь Хор-Вирап, Красный мост, крепостные сооружения, церковь св. Саркиса, св. Ованеса и Зоравор в Ереване;

в) Гибкие древние сооружения на скале или весьма

жесткие сооружения, возведенные на податливом основании (мягкие грунты) в условиях ровного рельефа уцелели полностью, либо получили лишь незначительные повреждения и местами, в самом эпицентре, частичные разрушения — церковь в Арзни V века, церковь св. Карапета в Гарни, мост через р. Азат в Гарни, мост через речку Гедар в Ереване, Башня—мавзолей в Ереване и Аргаванде, церкви Катогике, двухпрестольная св. Ншана и Погос-Петроса в г. Ереване, церковь в Норагавите и др.;

г) При землетрясении 1679 г. имели место три последовательных толчка. Интенсивность проявления первого толчка, наиболее сильного, в эпицентре была в пределах 8 баллов для гибких древних сооружений (по жесткости они аналогичны обычным гражданским сооружениям);

д) В пределах города Еревана мы имели возможность оценить суммарный эффект всех трех толчков. На основании расчета на сейсмостойкость некоторых древних сооружений Приереванского района и анализа повреждений ереванских церквей: двухпрестольной св. Ншана, Катогике и св. Погос-Петроса, можно полагать, что интенсивность проявления данного землетрясения на пролювиальных наносах городской котловины (участок, где находились эти церкви) доходила до 7,5—8 баллов. Это и явилось уточненной исходной бальностью Большого Ереванского района, служило отправным пунктом для осуществления сейсмического микрорайонирования территории г. Еревана;

е) Было установлено, что при этом землетрясении, как и при Цахкадзорском землетрясении 1827 г, в спектре сейсмических волн, особенно в скальных породах, имелись весьма высококачественные интенсивные импульсы, оказавшиеся губительными для весьма жестких древних сооружений, возведенных на скальном основании*. При других комбинациях жесткости древнего сооружения и его основания, сооружения не подвергались существенным разрушениям;

* Чтобы разрушить такие древние сооружения, как храм Трдата в Гарни, крепостные стены Гарни, монастыри Ахчоц-ванк, Айри-ванк и др. церкви, понадобились бы сотрясения интенсивностью, доходящей в обычных условиях, до 10—11 баллов.

ж) Обследование территорий ряда населенных пунктов эпицентральной области землетрясения показало (с учетом весьма плохого качества сельских построек прошлого), что массовые разрушения в сс. Гямрез, Канакер, Норк, Дзорагюх при этом землетрясении, вызваны особо неблагоприятными грунтово-геоморфологическими условиями их расположения (дома были фундированы на эллювиально-делювиальных щебенисто-несвязных грунтах в условиях крутого склона). Рядом находящиеся крупные населенные пункты XVII столетия с лучшими грунтовыми условиями избежали больших разрушений.

4. В ы в о д н ы е

I. Метод комплексного инженерно-геологического обследования древних сооружений, находившихся в эпицентральной области разрушительных землетрясений прошлого, с учетом динамических характеристик этих сооружений и их оснований, оказался плодотворным для уточнения интенсивности ряда землетрясений, отнесенной к определенным типам сооружений и грунтам оснований и дал нам возможность уточнить на этой основе исходную сейсмическую бальность Разданского, Зодского (Басаргечарского) и Приереванского района Армянской ССР.

II. Широко применяемые у нас методы многоканального исследования колебаний каменных сооружений (С. В. Медведев, Б. К. Карапетян, Е. Н. Бакрадзе и др.) вполне пригодны для определения динамических характеристик древних сооружений, и, в частности, церквей. Согласно полученным нами экспериментальным данным, учитывая большое сходство армянских церквей, можно считать, что частоты свободных колебаний у них находятся в пределах 10—20 герц, логарифмический декремент затухания имеет, по-видимому, значение в пределах 0,1—0,3.

III. Полученные уточненные величины исходной сейсмической бальности были использованы при составлении карт сейсмического микрорайонирования территории Разданского и Зодского комбинатов и г. Еревана, а также схемы деталь-

ного сейсмического районирования Большого Ереванского района*.

Уточнение исходной сейсмической бальности по изложенной здесь методике может широко применяться при составлении карт детального сейсмического районирования больших сейсмоактивных областей.

IV. В процессе проведенных исследований выяснилось, что при местных 6—8 балльных землетрясениях с поверхностным расположением очага, в спектре колебаний почвы, в особенности в скальных грунтах, проявились весьма высокочастотные (порядка 15—20 герц) интенсивные колебания, оказавшиеся губительными для весьма жестких (хотя и весьма прочных) древних сооружений, имеющих приблизительно такие же частоты свободных колебаний.

Интересно отметить, что сильное нарастание сейсмического эффекта в жестких сооружениях, возведенных на скальном или полускальном основании, наблюдалось и при других землетрясениях—Токийском 1923 г., Ахалкалакском 1899 г., Гегечкорском 1957 г., Бюраканском 1949 г. и др. Общее теоретическое истолкование подобных явлений, а также явления подбрасывания отдельных жестких предметов при землетрясении дано в свое время А. Г. Назаровым [12].

В трудах по изучению сейсмостойкости древних сооружений Античного мира и Средней Азии мы находим указания на факты, когда древние сооружения (приблизительно такие же жесткие, как и наши) без ущерба переносили веками большие сейсмические события в том случае, когда их фундаменты были возведены на специально устроенной глиняной или песчаной подушке.

До последнего времени отсутствовали инструментальные данные, говорящие в пользу наличия весьма высокочастотных колебаний (10 герц и более) в спектре землетрясений. Это объясняется, на наш взгляд, тем, что применяемые акселерографы обычно имели инерционные системы

* Изложению методики и полученных результатов детального сейсморайонирования будет посвящено отдельное сообщение.

(маятники), частоты свободных колебаний которых не превышали 1—5 герц.

В ряде работ японских исследователей последних лет, применивших современную аппаратуру [14, 15], приводятся данные о том, что при Фукуйском землетрясении 1948 г. и при ряде других близких землетрясений ($\Delta=30-100$ км), зарегистрированных в г. Цукуби, в спектре сейсмических колебаний зафиксированы частоты порядка 10—20 герц и 20—30 герц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г., Карапетян Б. К., Пирузян С. А. Сейсмическое микро-районирование на инструментальной основе. Доклады АН Армянской ССР, № 3, 1961.
2. Пирузян С. А. О сейсмическом микрорайонировании на основе инструментальных наблюдений. Известия АН Армянской ССР, серия техническая, № 4, 1962.
3. Гзовский М. В. Использование новейших и современных тектонических движений при детальном сейсмическом районировании нового типа. Современные движения земной коры. Сборник статей № 1, М., издательство АН АрмССР, 1963.
4. Медведев С. В. Карта сейсмического районирования территории СССР 1957 г. Труды Института физики Земли АН СССР, № 1, 1958.
5. Назаров А. Г. О сейсмическом районировании. Известия АН Армянской ССР, серия техническая, № 1, 1954.
6. Сафарян А. Н. О методике сейсмического районирования и микро-районирования. Труды Института строительного дела АН Грузинской ССР, том VI, Тбилиси, 1957.
7. Грубин И. Е. Закономерности сейсмических проявлений на территории Таджикистана, М., Известия АН СССР, 1960.
8. Пирузян С. А. О сейсмическом районировании и микрорайонировании. Материалы по изменениям СН—8—57, Ереван, Издательство Армянского Института стройматериалов и сооружений, 1960.
9. Бунз В. И. Об использовании карт сейсмического районирования масштаба для определения расчетной бальности. Труды Института физики Земли АН СССР, № 22, 1962.
10. Медведев С. В. Экспериментальные исследования колебаний жестких сооружений при сейсмических воздействиях. Труды Института физики Земли АН СССР, № 1 (168), М., 1958.
11. Карапетян Б. К. Результаты экспериментального исследования колебаний характерных зданий г. Еревана. Известия АН Армянской ССР, серия техническая, № 5, 1961.

12. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, Издательство АН Армянской ССР, Издание второе, 1959.
13. Пирузян С. А. К вопросу влияния микрогеологии на величину силы сотрясения по данным Гегечкорского землетрясения 1957 г. Известия АН Армянской ССР, серия техническая, № 6, 1957.
14. Инженерный анализ последствий землетрясений в Японии и США. Перевод с английского В. А. Быховского. М., Госстройиздат, 1961.
15. Асада Т. Наблюдение близких слабых землетрясений высокочувствительными сейсмографами. Слабые землетрясения. Сборник переводов под ред. Ю. В. Ризниченко, М., 1961.

ГЛАВА VII

С. Г. МОВСЕСЯН

ДЕАМИНИРОВАНИЕ И РЕАМИНИРОВАНИЕ НИКОТИНАМИД-АДЕНИН-ДИНУКЛЕОТИДОВ В МОЗГОВОЙ ТКАНИ

Расщепление никотинамид-аденин-динуклеотидов изучалось многими исследователями. Еще в 1906 г. Гарден и Юнг обратили внимание на лабильность кодегидразы I в дрожжевом соке [1]. Мейергоф обнаружил энзиматическую инактивацию кодегидразы в кашах различных тканей [2]. Начиная с 1936 г. в связи с возможностью получения чистых никотинамид-аденин-динуклеотидов значительно расширились исследования по их образованию и распаду.

Ряд авторов установили, что никотинамид-аденин-динуклеотид (НАД)* расщепляется следующими ферментами: 1. НАД—нуклеозидаза или НАД—гликогидролаза (НАД—аза), расщепляющая НАД на никотинамид (НА) и аденозиндифосфатрибозу (АДФ—Р); 2. НАД—пирофосфатаза, катализирующая превращение НАД на два моонуклеотида—никотинамидмоонуклеотид (НМН) и аденозиномонофосфат (АМФ); 3. НАД—пирофосфорилаза или никотинамид-моонуклеотид-аденилилтрансфераза, ускоряющая реакцию: $\text{НАД} + \text{пирофосфат} \rightleftharpoons \text{НМН} + \text{АТФ}$; 4. НАД—деамидаза, которая отщепляет аммиак за счет амидной группы никотинамида НАД с образо-

* Сокращения в тексте: никотинамид-аденин-динуклеотид — НАД; фосфо-никотинамид-аденин-динуклеотид — НАДФ; НАД — нуклеозидаза — НАД-аза; никотинамид — НА; аденозин-дифосфат-рибоза — АДФ-Р; никотинамид-моонуклеотид — НМН; аденозиномонофосфат — АМФ; аденозиндифосфат — АДФ; аденозинтрифосфат — АТФ; гуанозинмонофосфат — ГМФ; гуанозинтрифосфат — ГТФ; глутаминовая кислота — ГК; аспарагиновая кислота — АК; гамма-аминомасляная кислота — ГАМК; инозиновая кислота — ИМФ.

ванием деамидо—НАД; 5. НАД—деаминаза, дезаминирующая НАД за счет выделения аммиака из адениловой группы НАД, при этом образуется деамино—НАД.

Из вышеуказанных ферментов широкое распространение имеет НАД-аза. Она обнаружена почти во всех тканях животного организма [3—11]. Особенно высока активность этого фермента в мозговой ткани [3—5, 8], где она сосредоточена главным образом в микросомах [7, 8]. Активность НАД-азы сильно тормозится НА-ом [3—5, 8, 12]. НАД-азой расщепляется НАДН [4] причем более интенсивно [5, 8] и НАДФ [7].

В отношении НАД—пирофосфатазы Ольмейер первый установил, что при инкубировании мацерационного сока дрожжей с НАД образуется АМФ [13]. Корнберг и Линдберг показали, что НАД—пирофосфатаза проявляет высокую активность в почках, но отсутствует в мозговой ткани кролика [5]. Этот фермент был получен в очищенном виде из картофеля, он кроме НАД расщепляет также ФАД, НАДФ, АТФ (14), АДФ и НАДН [15], последний превращается в восстановленный НМН и АМФ. Якобсон и Каплан подтвердили отсутствие НАД—пирофосфатазной активности в мозговой и ее высокий уровень в почечной ткани [8]. В печени она менее активна и у различных животных сосредоточена в микросомальной фракции, митохондрии почти лишены этого фермента [8]. По данным Северина и сотр. [9] в сердечной и скелетной мускулатуре наряду с нуклеозидазным расщеплением НАД, что является основным путем его распада в этой ткани, происходит и ненуклеозидазное расщепление НАД, связанное с активностью НАД—пирофосфатазы и пирофосфорилазы. Интерес представляет повышение активности ферментных систем, расщепляющих НАД при экспериментальном миокардите [10].

НАД—пирофосфорилаза впервые была обнаружена Корнбергом в препаратах дрожжей и печени [16, 17]. В дальнейшем Прайс и Хандлер показали, что этот фермент катализирует также синтез деамидо—НАД из моонуклеотила никотиновой кислоты и АТФ [18, 19]. НАД—пирофосфорилаза сосредоточена в ядрах [20—24].

НАД—деамидаза мало изучена. Более широкое распространение имеет деамидаза НА. Она обнаружена у различных

микроорганизмов [25—28]. НА в организме быстро деамидируется в никотиновую кислоту и последняя принимает участие в синтезе деамидо—НАД [18], Грингард и сотр. выделили деамидазу НА из печени [29], деамидирование НА на уровне нуклеотида в печени мышей показали Сарма и сотр. [30]. Существенный интерес представляет деаминирование НАД за счет адениловой группы и образования из него деамино—НАД. Каплан и сотр. [31, 32] из такадиастазы выделили деаминазу, которая катализирует деаминирование НАД с образованием деамино—НАД. Этот фермент деаминирует также НАДН, АМФ, АДФ, АТФ, аденозин, АДФ—Р и не действует на НАДФ. Таким образом в отличие от дезаминаз АМФ и аденозина животных тканей, деаминаза такадиастазы не обнаруживает особую специфичность. Деаминирование НАД в тканях животного организма не изучена. Имеется лишь указание, что НАД подобно ГМФ, аденозину и АМФ в экстрактах мозговой ткани повышает прирост аммиака [33].

Предварительными исследованиями установлено, что никотинамид-адениндинуклеотиды (НАД, НАДН и НАДФ), добавленные к гомогенатам и митохондриальной фракции мозга крыс значительно повышают содержание аммиака. Полученные результаты послужили основанием для более детального изучения деаминирования НАД [34] образования деамино—НАД и роли этого процесса в деаминировании аминокислот и образования свободного аммиака из них. Механизм образования свободного аммиака из аминокислот не только в мозговой, но и в других тканях окончательно не выяснен. Оксидоза L—аминокислот в тканях животного организма малоактивна в частности в мозговой ткани она отсутствует, с другой стороны ткани животного организма не обладают рацемазной активностью в отношении аминокислот. Согласно исследованиям Браунштейна и сотр. [35] свободный аммиак выделяется путем окислительного деаминирования глутаминовой кислоты (ГК), аминная группа которой интенсивно восстанавливается в процессе трансаминирования за счет амино-групп других аминокислот. В настоящее время нельзя объяснить образование свободного аммиака из аминокислот путем трансдеаминирования через ГК. Многие исследования показали, что глутамат-деги-

дрогеназа в мозгу малоактивна и что равновесие окислительного деаминирования ГК смещено в сторону ее синтеза и ничтожные количества аммиака и кетоглутарата сильно подавляют деаминирование ГК [36—41], т. е. кетоглутаровая кислота является устранителем свободного аммиака. Подобный эффект оказывает в большинстве случаев и ГК через образование глутамина.

Установлено, что ГК обменивается в основном через аспарагиновую кислоту (АК) в печени [42—47], в мышечной [44, 47] и в мозговой тканях [45, 48—51], при чем примерно 80—90% утилизированной ГК превращается в АК в гомогенатах, срезах и митохондриальной фракции мозга [45, 48—51]. Таким образом значительная часть аминокислот через ГК переходит в АК, а через последнюю в мочевины. Вопрос роли АК в образовании свободного аммиака стал предметом ряда исследований в связи с реаминированием инозиновой кислоты (ИМФ) в адениловую, с участием АК, и образованием промежуточного соединения-аденилосукцината. В этом аспекте представляло интерес изучить реаминирование деамино—НАД при участии АК и выяснить значение этого процесса в образовании свободного аммиака.

Методика

Исследования проводили на белых крысах. Животных декапитировали, быстро извлекали мозг и переносили в охлажденный стакан. После удаления мозговых оболочек измельчали мозг ножницами и гомогенизировали его в 9 объемах 0,25 молярного раствора сахарозы (рН 7,4) в ручном гомогенизаторе, сконструированном по модели Даунса. Гомогенат центрифугировали на холоду (0—4°) для удаления ядер при 800—900 xg 10 минут. Фракцию митохондрий отделяли путем центрифугирования надосадочной жидкости в течение 15—20 минут при 18.000—20.000 xg. На каждую пробу брали такое количество митохондрий, которое соответствует 500 мг свежей ткани (3,9—4,9 мг митохондриального белка.) Инкубационная смесь содержала: 0,1 мл 0,133 молярного К—фосфатного буфера (рН 7,4), 0,15 мл 0,2 молярного Трис—HCl буфера (рН

7,45), 0,1 мл 0,12 молярного раствора $MgSO_4$ 0,5 мл митохондриальной фракции. Объем жидкости доводили до 1,5 мл добавлением 0,25 молярного раствора сахарозы (рН 7,4). На каждую пробу добавляли в мкмольях: НАД, НАДН—2,86; НА—8,2; АТФ—1,0; АМФ—2,8; ГТФ—1,0; ИМФ—2,8 и деамино—НАД—1,43. АК, ГК и ГАМК добавляли на пробу по 0,1 мл 0,26 молярного их раствора. Инкубацию проводили при 37° в течение одного часа в атмосфере воздуха.

Аммиак определяли микрометодом Зелигсона в модификации Силаковой и сот. [51a]. Белок определяли по методу Лоури и сотр. [51б]. НАД, НАДН, АТФ, АМФ, ГТФ, ИМФ и деамино—НАД были получены от Sigma Chemical Company.

Предыдущие исследования, проведенные нами с митохондриальной фракцией мазговой ткани [34], показали, что НАД и НАДН значительно повышают содержание аммиака в инкубационной среде. Подобный эффект, хотя и в меньшей степени оказывает и НАДФ, НА сам по себе особенного влияния на образование аммиака не оказывал, но добавленный вместе с НАД заметно стимулировал выход аммиака из него [34]. Действие НА объясняется тем, что он в этих концентрациях—5,46 мкмоль/мл почти полностью подавляет активность НАД-азы [12]. Ряд исследований показал, что НАД-аза различных органов, в том числе и мозга проявляет не только гидролитическую, но и трансгликозидазную активность и способна перенести остаток аденозиндифосфатрибозы от НАД к НА, никотиновой кислоте и другим пиридиновым основаниям [52—56], этим объясняется ингибирующее действие НА амида на НАД-азу.

В последующих исследованиях мы изучили образование аммиака добавляя вместе с НАД+НА и АК, а для сравнения полученных результатов ставили опыты с АМФ и АК. Как видно из приведенных данных (табл. 1) при добавлении к митохондриальной фракции НАД+НА образуется столько аммиака, сколько с добавленной в эквимольном количестве АМФ. АК сама по себе несколько повышает выход аммиака, но добавленная вместе с НАД+НА заметно увеличивает содержание аммиака, прирост его по сравнению с добавкой НАД+НА и АК в отдельности составляет 1,8 мкг на 1 мг белка. Уровень

аммиака не претерпевает особых изменений, в присутствии добавленных АМФ и АК. ГАМК сама по себе не вызывает особых изменений в содержании аммиака, но добавленный вместе с НАД+НА значительно усиливает его образование, прирост составляет 2,13 мкг. Интересно отметить, что при добавлении АМФ и НАД+НА уровень аммиака составляет 5,0 мкг, т. е. значительно меньше чем суммарный прирост аммиака при добавлении АМФ и НАД+НА в отдельности.

Таблица 1

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс под действием НАД, АК и ГАМК

Условия опыта	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
АК	0,86; 1,48; -0,41; 0,8 0,14; 0,86; 1,24; 0,61	0,7
ГАМК	0,21; 0,2; 0,00; 0,28;	0,17
НАД+НА	4,11; 4,31; 3,44; 2,62 3,71; 4,83; 3,67	3,81
НАД+НА+АК	6,31; 6,58; 5,84; 5,64; 6,31 5,71; 6,33; 6,28; 5,92	6,1
НАД+НА+ГАМК	6,35; 6,6; 6,53 5,24; 5,85;	6,11
АМФ	4,32; 4,18; 3,36 3,98; 4,75; 3,16	3,92
АМФ+АК	4,7; 4,68; 4,6; 4,11 4,04; 4,54; 4,28;	4,42
АМФ+НАД+НА	4,58; 4,93; 4,8; 5,75;	5,0

В таблице 2 приведены результаты опытов с ГК. Они свидетельствуют, что одна ГК понижает содержание аммиака. При добавлении ГК вместе с НАД+НА прирост аммиака заметно повышается, составляя 2,28 мкг.

Из этой же таблицы видно, что при добавлении АТФ образуется почти такое-же количество аммиака, как и в присутствии добавленной АМФ (табл. 1), хотя АТФ брали в значительно меньшем количестве (1 мкмоль). Интересно отметить,

Таблица 2

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс под действием НАД и ГК

	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
ГК	—0,53; —1,08; —0,6; 0,49; —0,36; —0,81 0,26; —0,52; —0,66; 0,04; —1,13;	—0,37
НАД+НА	4,0; 2,16; 4,98; 2,97; 3,53; 4,34; 4,9 3,89; 2,68; 3,06; 2,3; 3,91; 4,8; 3,62	3,65
НАД+НА+ГК	5,6; 4,96; 4,33; 6,29; 6,04; 5,98 6,03; 4,06; 6,34; 5,94; 5,59;	5,56
АТФ	3,35; 2,77; 3,2 3,77; 3,49; 4,0	3,43
АТФ+НАД+НА	5,54; 4,7; 4,94; 5,21 4,67; 5,33; 4,28;	4,95
НА	0,09 —0,1; 0,13 0,77 0,47;	0,27

что суммарный прирост аммиака намного ниже когда АТФ и НАД+НА добавлены вместе. По-видимому, АМФ и особенно АТФ тормозят деаминирование НАД, или НАД подавляет их деаминирование. НА сам по себе заметных изменений в содержании аммиака не вызывает (табл. 2).

В опытах с ГК мы определяли также содержание глутамина, путем вытеснения аммиака из его амидной группы под действием КОН. Результаты опытов, которые сведены в табл. 3 показывают, что добавление ГК и АТФ приводит к заметному повышению содержания глутамина. Более значительный прирост глутамина отмечается при совместном добавлении ГК и АТФ.

Таким образом часть аммиака, причем в присутствии АТФ довольно большая, аккумулируется в глутамине. По-видимому это имеет место и в присутствии добавленных ГК и НАД+НА, об этом свидетельствуют результаты наших исследований, проведенных с деамино—НАД и ГК.

Следующая серия опытов была проведена с НАДН. Результаты, сведенные в табл. 4 показывают, что ГК снижает уровень аммиака, а ГАМК усиливает его продуцирование. Значительный прирост аммиака наблюдается при добавлении

Таблица 3

Содержание глутамина при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс при добавлении ГК и АТФ

Условия опыта	Прирост аммиака за счет амидо азота глутамина в мкг/мг белка	Среднее
Глутамат	1,12; 1,02; 1,02; 1,02	1,02
АТФ	1,12; 1,15; 1,02; 0,79; 1,02	1,02
Глутамат+АТФ	4,22; 4,54; 4,02; 4,22; 4,12	4,22

НАДН+НА. Содержание аммиака возрастает в большей степени при добавлении НАД+НА и ГАМК, и особенно НАД+НА+ГК.

Таблица 4

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс под действием НАДН, ГК, ГАМК

	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
ГК	-0,9; -0,76 0,0; -0,36	-0,55
ГАМК	0,7; 1,36 0,86; 0,34	0,97
НАДН+НА	4,6; 5,52; 4,65; 4,75; 4,97 4,85; 5,34; 5,67; 5,31	5,07
НАДН+НА+ГК	6,95; 7,88; 7,01; 7,35; 6,55 7,04; 7,03; 6,71; 6,63	7,02
НАДН+НА+ГАМК	6,2; 6,97; 8,27; 8,77 6,7; 7,32; 6,97; 6,59	7,21

ГАМК с НАДН+НА повышает прирост аммиака на 1,17 мкг, а ГК—на 2,5 мкг на 1 мг белка.

Полученные данные дают основание заключить, что прирост аммиака в присутствии добавленных ГК и НАД (табл. 2) не обуславливается окислительным деаминированием ГК, потому, что при добавлении НАДН с ГК прирост аммиака не угнетается, а, наоборот, даже несколько стимулируется.

Значительный интерес представляло изучить изменения в содержании аммиака при добавлении деамино—НАД, АК, ГАМК и ГК. Результаты исследований, проведенных в этом

направлении приведены в табл. 5. Они показывают, что деамино—НАД лишь несколько повышает уровень аммиака (на 0,5 мкг на 1 мг белка) примерно такой-же прирост аммиака отмечается в присутствии добавленных деамино—НАД+НА (0,56 мкг аммиака). Как видно из табл. 5 прирост аммиака значительно повышается, когда вместе с НАД+НА добавляется АК, он составляет 2,21 мкг аммиака на 1 мг белка. Полученные результаты позволяют заключить, что деамино—НАД по аналогии с инозиновой кислотой вступает в реакцию с АК, образуется НАД—сукцинат, который распадается на фумарат и НАД, а последний деаминируется с образованием аммиака и деамино—НАД. Образование аденило-сукцината из инозиновой кислоты и АК осуществляется при участии АТФ, и по некоторым данным и ГТФ [57]. Поэтому мы задались целью изучить продуцирование аммиака при добавлении АТФ и ГТФ. Полученные результаты (табл. 5) показывают на значительный прирост аммиака при внесении в инкубационную среду АК, деамино—НАД и АТФ. Так в присутствии добавленных одной АК прирост аммиака составляет 0,38 мкг, АТФ+деамино—НАД+НА—4,56 мкг, а АК+АТФ+деамино НАД+НА—7,62 мкг аммиака на 1 мг белка.

Как видно из табл. 5 митохондриальной фракцией мозга деаминируется и ГТФ. Возможно, что ГТФ переходит в ГМФ и последний деаминируется. В опытах Мунца [33] ГМФ деаминировался экстрактами из ацетонового порошка мозга. По сравнению с АТФ добавленный ГТФ вместе с АК и деамино—НАД+НА в меньшей степени стимулирует образование аммиака, прирост его составляет 5,85 мкг на 1 мг белка (табл. 5).

Результаты исследований, проведенных с ГАМК сведены в табл. 6. Полученные данные свидетельствуют, что одна ГАМК стимулирует образование аммиака на 0,29 мкг, при добавлении НАД+НА прирост аммиака составляет 0,56, а ГАМК+деамино—НАД—1,39 мкг аммиака на 1 мг белка. Таким образом ГАМК уступает АК в отношении образования аммиака. В присутствии добавленных ГАМК+АТФ+деамино—НАД происходит заметное увеличение количества аммиака, но по сравнению с пробами, где добавлялись АТФ+ГАМК приро-

ста аммиака составляет 1,46 мкг, т. е. значительно меньше чем в пробах с АК взамен ГАМК (табл. 5).

Таблица 5

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс под действием деамино — НАД, АК, АТФ и ГТФ

Условия опыта	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
АК	0,68; 0,61; 0,35; 0,66 0,84; 0,26; 0,13; 0,83	0,38
Д—НАД*	0,68; 0,35 0,99; 0,00	0,5
Д—НАД+НА	0,91; 0,35; 0,69 0,99; 0,14; 0,32	0,56
АК+Д—НАД+НА	2,28; 2,52; 2,52; 1,65 2,44; 1,94; 2,06;	2,21
АТФ	4,45; 3,77; 5,72; 1,84; 4,30 4,30; 3,42; 4,86; 3,00; 5,43	4,09
АК+АТФ	5,37; 4,92; 7,46; 3,34; 4,24 5,41; 4,57; 6,69; 3,74; 5,16	5,19
Д—НАД+НА+АТФ	5,04; 3,92; 5,03; 4,8 5,41; 4,11; 3,63;	4,56
АК+Д—НАД+НА+АТФ	7,57; 6,63; 9,26; 6,68 8,16; 6,54; 8,4; 7,7	7,62
Д—НАД+НА+ГТФ	4,45; 4,18; 4,73; 3,57;	4,34
АК+Д—НАД+НА+АТФ	6,83 5,38; 7,3; 5,14;	5,93

* Д—НАД—деамино—НАД.

Интерес представляло сравнить эффект деамино—НАД в образовании аммиака с ИМФ. В соответствующих опытах мы брали ИМФ вдвое больше (2,3 мкмоль) чем деамино—НАД. Несмотря на это прирост аммиака при добавлении АК и ИМФ по сравнению с одной АК составляет 0,57 мкг (табл. 7), между тем как в присутствии добавленных АК+деамино—НАД (добавленной в количестве 1,43 мкмоль) соответствующая разница составляла 1,83 мкг аммиака (табл. 5). И в пробах с АТФ при наличии ИМФ в двойном количестве и АК уровень аммиака повышается значительно меньше, составляя 5,86 мкг на 1 мг белка, (табл. 7) при замене инозиновой кислоты деамино—НАД прирост аммиака составлял 7,62 мкг (табл. 5).

Таблица 6

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс под действием деамино-НАД и ГАМК

Условия опыта	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
ГАМК	0,44; 0,52 0,2; 0,00	0,29
Д—НАД+НА	0,91; 0,35; 0,69 0,99; 0,14; 0,32	0,56
ГАМК+Д—НАД+НА	1,33; 1,68 2,0; 0,55	1,39
АТФ	4,45; 3,77; 5,72; 1,84; 4,30 4,30; 3,42; 4,86; 3,00; 4,43	4,09
ГАМК+АТФ	4,54; 4,82 5,3; 4,37	4,75
ГАМК+Д—НАД+НА+АТФ	6,54; 6,32 6,22; 5,77	6,21

Интересно отметить, что при добавлении АТФ и АК наблюдается заметный прирост аммиака. Так например, одна АК повышает уровень аммиака на 0,31—0,38 мкг (табл. 5 и 7), АТФ на 3,94—4,09 мкг, а в присутствии добавленных АТФ+АК содержание аммиака повышается на 5,08—5,11 мкг на 1 мг белка. По-видимому в образование аммиака включаются процессы деаминирования и реаминирования эндогенного НАД.

Следующая серия опытов была проведена с деамино—НАД и ГК. Полученные данные приведены в табл. 8, они свидетельствуют, что ГК, добавленная с деамино—НАД заметно стимулирует образование аммиака, если учесть что одна ГК устраняет аммиак, то прирост аммиака составит 0,95 мкг на 1 мг белка, не исключена возможность и частичного аккумулярования аммиака в глутамине. Количество его трудно было определить при наличии НА+деамино—НАД, которые подобно глутамину деамидируются в присутствии едкого калия. АТФ и в этих опытах является мощным продуцентом аммиака, при добавлении АТФ и ГК содержание аммиака снижается, но

Таблица 7

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции
мозга крыс под действием ИМФ и АК

Условия опыта	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
АК	0,31; 0,34; 0,24 0,6; 0,34; 0,04	0,31
ИМФ	-0,14; -0,14; -0,14 -0,2; 0,12; 0,09	-0,07
АТФ	4,18; 3,58; 3,6 3,8; 4,57; 3,95	3,94
АТФ+ИМФ	4,75; 4,31; 4,1 4,4; 4,46; 4,08	4,35
ИМФ+АК	1,04; 0,49; 1,11 0,8; 1,08; 0,79	0,88
АТФ+АК	5,55; 4,88; 5,12 5,0; 5,5; 4,6	5,08
АТФ+ИМФ+АК	6,04; 5,56; 5,77 5,9; 6,2; 5,67	5,86

сильно возрастает количество глутамина (табл. 3). ГК, добавленная с деамино—НАД и АТФ несколько повышает уровень свободного аммиака, по-видимому и в этом случае протекает усиленное образование глутамина, об этом свидетельствует значительное повышение общего амидного азота по сравнению с пробами, где были добавлены деамино—НАД+НА, деамино—НАД+НА+ГК и деамино—НАД+НА+АТФ. Учитывая образование глутамина и уровень свободного аммиака можно заключить что и ГК участвует в реаминировании деамино—НАД. Стоит задача выяснить участвует ли ГК непосредственно в этом процессе, или путем образования АК из нее.

Как видно из табл. 8, ГТФ, добавленный взамен АТФ особых изменений в уровне аммиака не вызывает как в присутствии ГК, деамино—НАД, так и ГК+деамино—НАД. Отсутствие данных об образовании глутамина в этих пробах не позволяет сделать определенные выводы в отношении участия

Таблица 8

Содержание аммиака при инкубировании митохондриальной фракции мозга крыс под действием деамино-НАД и ГК

Условия опыта	Прирост аммиака по сравнению с инкубированным контролем в мкг/мг белка	Среднее
ГК	—0,35; —0,45 —0,07; —0,80	—0,43
Д—НАД+НА	0,91; 0,35; 0,69 0,99; 0,14; 0,32	0,56
Д—НАД+НА+ГК	1,37; 0,81; 0,46 1,3; 0,93;	0,98
АТФ	4,45; 3,77; 5,72; 1,84; 4,30 4,30; 3,42; 4,86; 3,00; 4,43	4,09
ГК+АТФ	1,73; 1,60; 2,49 1,81; 1,25; 0,63	1,58
ГК+Д—НАД+НА+АТФ	1,73; 2,31; 1,89; 2,0;	1,98
ГТФ	4,45; 3,92; 4,09 4,3; 3,42;	4,21
ГК+ГТФ	3,43; 3,66 4,76; 3,2	3,76
Д—НАД+НА+ГТФ	4,45; 4,18; 4,8 4,73; 3,57;	4,34
ГК+Д—НАД+НА+ГТФ	5,14; 3,92 5,53; 3,57	4,54

ГТФ в аммиакообразовании, т. е. в реаминировании деамино—НАД.

Обсуждение результатов

Полученные нами данные не оставляют сомнения в том, что в мозговой ткани никотинамид-аденин-динуклеотиды являются одним из источников свободного аммиака, который образуется из них за счет деаминарования остатка аденина. Деамидирование НАД исключается, потому что деамино—НАД и НА, как показали наши исследования, не подвергаются деамидированию митохондриальной фракцией мозговой ткани. С другой стороны в процессе инкубации количество амидных групп добавленных НАД и НА не претерпевало изменений. Можно было думать о том, что НАД расщепляется пирофосфатазой на НМН и АМФ, а аммиак образуется деаминирова-

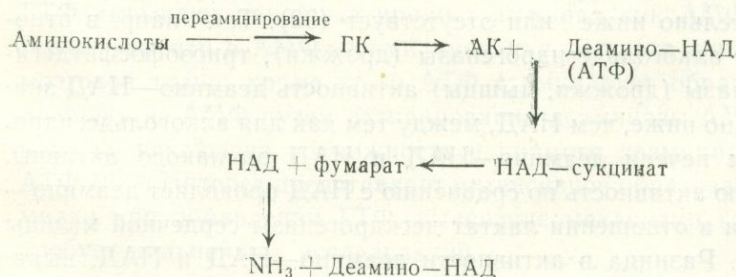
нием последнего. Однако пирогосфатазная активность в отношении НАД отсутствует в мозговой ткани (5, 8), кроме этого деаминирование АМФ в мозговой ткани сопровождается выделением фосфата (8), то-же самое мы наблюдали при добавлении АМФ к митохондриальной фракции, между тем как содержание свободного фосфата не изменялось при деаминировании НАД (34). Из ферментов, расщепляющих НАД в мозговой ткани весьма активна НАД-аза. Однако она не может иметь отношения к образованию аммиака из НАД потому, что НА не подвергается деамидированию в мозговой ткани, с другой стороны добавляя НА и тем самым подавляя НАД-азу мы наблюдали бо́льший прирост аммиака, чем в присутствии одного НАД. Следует также отметить, что НАД-аза локализована в основном в микросомах (8). Что касается другого фермента—пирогосфорилазы, то она сосредоточена в ядрах (20—24) и расщепляет НАД при участии пирогосфата на НМН и АТФ, последний через АМФ является одним из источников аммиака. Однако, как указывалось выше деаминирование АМФ сопровождается повышением уровня свободного фосфата, чего не наблюдается при деаминировании НАД. Кроме этого при наличии АТФ и малых количеств пирогосфата происходит не распад, а синтез НАД.

На основании вышеизложенного можно заключить, что никотинамид-аденин-динуклеотиды интенсивно деаминируются в мозговой ткани и переходят в их деамино-формы. Не исключается возможность подобного явления и в других тканях.

Большой интерес представляет реаминирование деамино—НАД. Исследования Каплана и сотр. (6) показали, что введение НАД и деамино—НАД мышам значительно повышает содержание НАД особенно в печени и почках, интересно, что в этом отношении деамино—НАД оказался более эффективным чем сам НАД. Некоторое повышение содержания НАД отмечалось и в мозгу после введения НАД или деамино—НАД. Исследования, проведенные нами с НАД, НАДН и деамино—НАД показывают, что при добавлении с ними вместе АК, ГАМК и ГК образование свободного аммиака значительно повышается. Из этих аминокислот более эффективна АК. Полу-

ченные результаты позволяют заключить, что при участии АК, ГАМК, ГК происходит реаминирование деамино—НАД в НАД, деаминирование которого приводит к высвобождению аммиака и вновь образуется деамино—НАД. Из вышеуказанных аминокислот, по-видимому, АК непосредственно вступает в реакцию с деамино—НАД. По аналогии с инозиновой кислотой сперва может образоваться взамен аденилосукцината НАД—сукцинат, а из последнего НАД и фумарат. Следует отметить, что АТФ как и в случае реаминировании инозиновой кислоты, усиливает образование аммиака в присутствии добавленных АК и деамино—НАД. Могут ли вступить в реакцию реаминирования непосредственно ГК и ГАМК. Проведенные нами исследования показывают, что в митохондриальной фракции из ГК образуются значительные количества АК, по-видимому ГК участвует в процессе реаминирования через АК. Что касается ГАМК, то не исключена возможность ее прямого вовлечения в процесс реаминирования деамино—НАД. Полученные нами данные свидетельствуют, что ГАМК добавленная с НАД повышает содержание аммиака в такой же степени, что и АК. Она значительно стимулирует (хотя в несколько меньшей степени, чем АК) образование аммиака и в присутствии деамино—НАД, с другой стороны ГАМК в условиях наших опытов особенного влияния на содержание АК не оказывала.

На основании полученных нами результатов можно выдвинуть следующий путь перехода аминокислот в свободный аммиак:



Эта система, аналогичная реаминированию инозиновой кислоты и деаминированию АМФ ($\text{АК} + \text{ИМФ} \rightarrow \text{Аденило-сукцинат} \rightarrow \text{АМФ} + \text{фумарата} + \text{ИМФ} + \text{NH}_3$), которым придают

большое значение Кометиани и сотр. в образовании свободного аммиака из аминокислот (58—60), значительно более эффективна в образовании свободного аммиака из аминокислот.

Как показывают результаты наших исследований ИМФ добавленная в двойном количестве с АК значительно уступает деамино—НАД в образовании свободного аммиака (табл. 7). Такая же разница наблюдается при сравнении результатов с пробами АМФ+АК и НАД+НА+АК. Кроме этого следует учесть, что содержание ИМФ в мозговой и в других тканях весьма незначительно, между тем как уровень НАД+НАДН составляет согласно данным ряда исследований от 21,1—30 мг% (61—63) в мозговой ткани и значительно больше в печени, почках, сердечной мышце. Кроме этого АМФ интенсивно превращается в АТФ, который в свою очередь необходим для образования самого АМФ из ИМФ.

Полученные нами данные свидетельствуют о новой функции никотинамид-аденин-динуклеотидов в обмене аминокислот и указывают на то, что их роль не ограничивается только участием в окислительно-восстановительных процессах. Следует отметить, что не все количество НАД участвует в дыхательной цепи, интактные митохондрии печени крыс содержат от 30 до 40 моль НАД на 1 моль цитохрома а (64). Деаминирование НАД в деамино—НАД может иметь значение и в окислительно-восстановительных процессах. Установлено, что деамино—НАД проявляет в ряде дегидрогеназных систем такую же активность как НАД, в других—его активность по сравнению НАД значительно ниже или отсутствует (32). Так напр. в отношении алкогольдегидрогеназы (дрожжи), триозофосфатдегидрогеназы (дрожжи, мышцы) активность деамино—НАД значительно ниже, чем НАД, между тем как для алкогольдегидрогеназы печени деамино—НАД и НАД одинаково активны. Низкую активность по сравнению с НАД проявляет деамино—НАД и в отношении лактат дегидрогеназы сердечной мышцы (бык). Разница в активности деамино—НАД и НАД, выражена более отчетливо при их низких концентрациях. Деамино—НАД и НАД проявляют одну и ту же активность также в отношении цитрохром—с редуктазы (сердечная мышца кролика), а деамино—НАД более низкую при дегидрировании фор-

миата (гороха), альдегида и β —гидроксимасляной кислоты в печени (65,66). Полученные нами результаты свидетельствуют, что в процессе гликолиза в митохондриальной фракции мозга крыс деамино—НАД значительно повышает образование пирувата и α —кетоглутарата, наряду с этим содержание лактата уменьшается. При добавлении НАД, наоборот, уровень лактата повышается за счет понижения содержания пирувата. Представляет интерес изучить активность деамино—НАД в других дегидрогеназных системах животных тканей, а также выяснить его значение в образовании промежуточных макроэргов в дыхательной цепи. Интересно отметить, что деамино—НАД по сравнению с НАД проявляет высокую устойчивость к действию НАД-азы (61, 67).

Каплан и сотр. показали, что деаминаза выделенная из такадиастазы наряду с НАД и НАДН деаминирует аденозин, АМФ, АДФ, АТФ и АДФ—рибозу, при чем аденозин и АМФ конкурентно-тормозят деаминирование НАД (31, 32). По-видимому НАД и АМФ в мозговой ткани деаминируются различными ферментами. В опытах Мунца образование аммиака из НАД протекало интенсивнее чем из АМФ, АТФ значительно стимулировал деаминирование АМФ и не влиял на продуцирование аммиака из НАД (33). В наших исследованиях добавленный сукцинат полностью подавлял деаминирование НАД, и не оказывал особого действия на уровень аммиака, в присутствии добавленного АМФ или АТФ.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что АТФ, ГТФ вызывают такой же прирост аммиака как АМФ. АТФ может перейти в АМФ, деаминирование которого доказано в мозговой ткани, кроме этого АТФ стимулирует образование аммиака из АМФ путем активирования деаминазы АМФ. Однако не исключена возможность и прямого деаминирования АТФ (68). Интерес представляет интенсивное образование аммиака при добавлении ГТФ, выяснение механизма которого требует дальнейших исследований.

В ы в о д ы

1. Никотинамид-аденин—динуклеотиды (НАД, НАДН), добавленные к митохондриальной фракции мозга крыс значи-

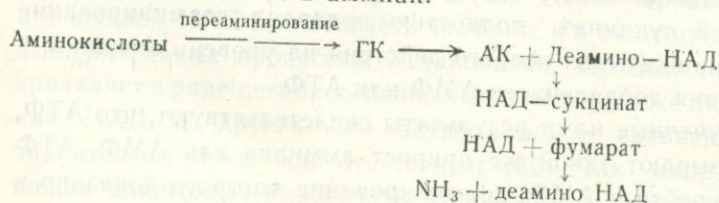
тельно повышает образование свободного аммиака, которое обусловливается их деаминированием за счет остатка аденина. При этом НАД и НАДН переходят в соответствующие деамино-формы.

2. Аспартат (АК), глутамат (ГК) и гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) добавленные вместе с НАД и НАДН значительно повышают уровень аммиака.

3. Деамино—НАД и никотинамид митохондриальной фракцией крыс не подвергаются деамидированию, и особого влияния на прирост аммиака не оказывают.

4. При добавлении деамино—НАД вместе с ГК, ГАМК и особенно с АК значительно повышается прирост аммиака. Этот процесс усиливается при добавлении АТФ. Инозиновая кислота, добавленная взамен деамино—НАД в двойном количестве с АК, лишь несколько стимулирует образование аммиака и по своему эффекту намного уступает деамино—НАД.

5. Полученные результаты позволяют заключить, что в мозговой ткани (возможно и в других тканях) происходит деаминирование НАД и реаминирование деамино—НАД, в последнем процессе в первую очередь вовлекается АК. Эти данные дают основание наметить следующий путь перехода аммоноазота аминокислот в аммиак:



ЛИТЕРАТУРА

1. Harden A. and Young W. J. Proc. Roy. Soc. B. 77, 410; B 78, 369, 1906.
2. Meyerhof O., Hoppe Seyler's Z. physiol. Chem., 101, 165; 102, 1, 1918.
3. Mann P. J. G. and Quastel J. H. Biochem. J., 35, 502, 1941.
4. Handler P. and Klein J. R. J. Biol. Chem. 143, 49, 1942.
5. Kornberg A. and Lindberg O. J. Biol. Chem., 176, 665, 1948.
6. Colowick S. P., Kaplan N. O. and Ciotti M. M. J. Biol. Chem., 191, 447, 1951.
7. Sung S. and Williams J. N. Jr., J. Biol. Chem., 197, 175, 1952.
8. Jacobson K. B. and Kaplan N. O. J. Biophys. Biocem. Cytol., 3, 31, 1957.

9. Северин С. Е., Цейтлин Л. А. и Дружинина Т. Н. Биохимия **28** 145, 1963.
10. Северин и Цейтлин Л. А. Вopr. мед. хим., **10**, 300, 1964.
11. Рагозкин В. А. и Максимова Л. В. Укр. биох. журн., **37**, 379, 1965.
12. Larner J., Jandorf B. J. and Summerson W. H. J. Biol. Chem., **178**, 373, 1949.
13. Ohlmeyer P., Biochem Z. **287**, 212, 1936.
14. Kornberg A. J. Biol. Chem., **174**, 1051, 1948.
15. Kornberg A. and Pricer W. E. Jr., J. Biol. Chem., **182**, 763, 1950.
16. Kornberg A., J. Biol. Chem., **176**, 1475, 1948.
17. Kornberg A. J. Biol. Chem. **182**, 779, 1950.
18. Preiss J. and Handler P. J. Biol. Chem., **233**, 488, 1958.
19. Preiss J. and Handler P., J. Biol. Chem., **233**, 493, 1958.
20. Hogeboom G. H. and Schneider W. C. J. Biol. Chem. **197**, 611, 1952.
21. Branster M. V. and Morton R. K. Biochem. J., **63**, 640, 1956.
22. Atkinson M. R., Jackson J. F. and Morton R. K. Biochem. J., **81**, 318, 1961.
23. Рагозкин В. А., Федорова Г. П. и Машанский В. Ф. Вopr. мед. химии, **10**, 546, 1964.
24. Северин С. Е., Цейтлин Л. А. и Телепнева В. И. ДАН СССР, **164**-953, 1965.
25. Hughes D. E. and Williamson D. H. Biochem. J., **51**, 330, 1952.
26. Sundaram T. K., Rajagopalan K. V., Piahappa C. V. and Sarma P. S. Biochem. J., **77**, 145, 1960.
27. Imsande J. J. Biol. Chem., **236**, 1494, 1961.
28. Joshi J. G. and Handler P. J. Biol. Chem., **237**, 929, 1962.
- 29.
30. Sarma D. S. R., Rajalkshmi S. and Sarma P. S. Biochem. Biophys. Res. Commun., **6**, 389, 1961.
31. Kaplan N. O. Colowick S. P. and Stolzenbach F. E. Feder. Proc. **10**, 204, 1951.
32. Kaplan N. O., Colowick S. P. and Ciotti M. M. J. Biol. Chem., **194**, 579, 1952.
33. Nuntz J. A., J. Biol. Chem., **201**, 221, 1953.
34. Мовсесян С. Г. и Бунятыян Г. Х. ДАН АрмССР, **41**, 159, 1965.
35. Браунштейн А. Е. Биохимия аминокислотного обмена, изд. АМН СССР, М. 1949.
36. Euver H. von Adler E., Günther G. und Das N. B. Hoppe-Seyler Z. physiol. Chem., **254**, 61, 1938.
37. Krebs H. A., Eggleston L. V. and Hems R. Biochem. J., **43**, 406, 1948.
38. Copenhaver J. H., Jr., McShan W. H. and Meyer R. K. J. Biol. Chem., **183**, 73, 1950.
39. Strecker H. J. Arch. Biochem. Biophys., **46**, 127, 140, 1953.
40. Holton F. A. Biochem. J., **58**, 1, 1954.
41. Strominger J. L. and Lowry O. H. J. Biol. Chem., **213**, 635, 1955.
42. Krebs H. A. Biochem. J., **47**, 605, 1950.

43. Müller A. F. and Lenthardt F., *Helv. Chim. Acta*, **33**, 268, 1950.
44. Borst P. and Slater E. C., *Biochim Biophys. Acta*, **41**, 170, 1960.
45. Krebs H. A. and Bellamy D. *Biochem. J.*, **75**, 523, 1960.
46. Jones E. A. and Gutfreud H. *Biochem. J.*, **79**, 608, 1961.
47. Borst P. *Biochim. Biophys. Acta*, **57**, 256, 1962.
48. Haslam B. J. and Krebs H. A. *Biochem. J.*, **88**, 566, 1963.
49. Бунятыян Г. Х. Журн. Всесоюзного химич. общества им. Менделеева, **9**, 412, 1964.
50. Бунятыян Г. Х., В сб.: Роль гамма-аминомасляной кислоты в деятельности нервной системы. Изд. Ленингр. университета, стр. 9, 1964.
51. Демин Ю. М., Мусаелян С. С., Карапетян В. С., Осипова Э. Н. и Акопян Д. А. Вопросы биохимии мозга, Изд. АН АрмССР, вып. 1, 45, 1964.
- 51a. Силакова А. И., Труш Г. П. и Являкова А., Вопросы мед. химии, **8**, 538, 1962.
- 51b. Lowry O. H., Rosebough N. T., Farr A. L. and Randal R. T. J. *Biol. Chem.*, **193**, 265, 1951.
52. Zatman L. J., Kaplan N. O. and Colowick S. P. *J. Biol. Chem.*, **200**, 197, 1953.
53. Zatman L. J., Kaplan N. O., Colowick S. P. and Ciotti M. M. *J. Biol. Chem.*, **209**, 456, 467, 1954.
54. Ballio A. and Serludi. Crescenzi G., *Nature*, **180**, 1203, 1957.
55. Windmueller H. G. and Kaplan N. O., *Biochim. Biophys. Acta*, **56**, 388, 1962.
56. Honjo T., Ikeda M., Andreoli A. J., Nishizuka Y. and Hayashi O. *Biochim. Biophys. Acta*, **89**, 549, 1964.
57. Lieberman J. J. *Amer. Chem. Soc.*, **78**, 251, 1956, *J. Biol. Chem.*, **233**, 327, 1956.
58. Кометиани П. А. Биохимия, **24**, 729, 1959.
59. Кометиани П. А., Клейн Е. Э. Норданишвили Г. С., Гвалия Н. В. и Чикванидзе В. Г. Сб. Вопросы биохимии нервной и мышечной системы, Тбилиси, стр. 42, 1965.
60. Кометиани П. А. Укр. биохим. ж. **37**, 721, 1965.
61. Kaplan N. O., Goldin A., Humphreys S. R., Ciotti M. M. and Stolzenbach F. S. *J. Biol. Chem.* **219**, 287, 1956.
62. Glock G. E. and McLean P. *Biochem. J.*, **61**, 388, 1955.
63. Minard F. D. and Chae Hee Hahn. *J. Biol. Chem.*, **238**, 2471, 1963.
64. Lehninger A. L. Wadkins Ch. L., Cooper C., Devlin T. M. and Gamble J. L. Jr., *Science*, **128**, 450, 1958.
65. Pullman M. E. *Feder. Proc.*, **10**, 234, 1951.
66. Pullman M. E., Colowick S. P. and Kaplan N. O. *J. Biol. Chem.*, **194**, 593, 1952.
67. Kaplan N. O., Colowick S. P. and Nason A., *J. Biol. Chem.*, **191**, 473, 1951.
68. Бунятыян Г. Х. и Арутюнян А., Вопросы биохимии мозга, изд. АН АН АрмССР, вып. 2, 1966.

А. А. СИМОНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ФОСФОРИЛИРОВАНИЯ В МИТОХОНДРИЯХ МОЗГА И ПЕЧЕНИ КУРИНОГО ЭМБРИОНА В ТЕЧЕНИЕ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И В ПОСТНАТАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

В ходе онтогенетического развития сельскохозяйственных птиц в результате окислительно-восстановительных процессов в течение инкубации внутри яйца образуется большое количество свободной энергии. Выделение тепла у куриного эмбриона становится заметным с 8 дня развития и особенно с 12 дня. С этого периода эмбрион приобретает черты, характерные теплокровным животным. В это время начинают функционировать и механизмы тканевой терморегуляции. С 13 дня внутри яйца температура, постепенно повышаясь, превышает температуру инкубатора. Эта разница температур, увеличиваясь, на 21 день составляет $5,7^{\circ}$ [1]. Аналогичные данные получились и в работах Третьякова на эмбрионах уток [2]. Как и каким образом образуется эта свободная энергия, результатом каких обменных превращений и реакций терморегуляции она является? Исследование этого вопроса имеет важное теоретическое значение и одновременно поможет работникам сельского хозяйства, особенно в инкубаторных хозяйствах, для правильного применения теплового режима выведения цыплят.

Известно, что в цепи тканевых энергетических реакций центральное место занимает сопряженное окислительное фосфорилирование, вследствие чего образовавшаяся в тканях энергия генерируется в фосфатных макроэнергетических связях, в доступной для клетки форме. С этой целью мы в течение эм-

бриогенеза и в постнатальном периоде определяли динамику соотношения окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга и печени куриного эмбриона, а также активность аденозинтрифосфатазы (АТФ—фосфогидролазы, КФ 3. 6. 1. 3).

Опыты ставились с 13 дня развития эмбриона до вылупления цыпленка. Для сравнения изучалось также окислительное фосфорилирование митохондрий мозга и печени 1—17 дневных цыплят, а также зрелых кур. Возраст эмбриона определялся по срокам инкубации и корректировался по таблицам морфологического развития Лилли [3]. Исследования проводились на эмбрионах кур породы белая русская.

Методика исследования

Зародыш быстро обезглавливали, извлекали мозг и освобождали от оболочек, кровь удаляли фильтровальной бумагой, смоченной в растворе 0,25 М сахарозы. Для каждого опыта брали 5—6 г мозгового вещества, полученного из нескольких зародышей. Без предварительного измельчения мозг гомогенизировали стеклянным гомогенизатором типа Поттера [4] с вращающимся тефлоновым пестиком в 0,25 М растворе сахарозы, при соотношении 1:9, в течение 20 секунд. Клеточные фракции мозга отделяли дифференциальным центрифугированием, методом Манделя и сотр. [5] с некоторыми модификациями. Ядра и цитоплазматические обломки клетки мозга отделяли центрифугированием $800-900 \times g$ в течение 12 мин., а митохондрии—при $15000 \times g$ в течение 15 мин.

Митохондрии печени выделяли при тех же условиях опыта. Ядра и цитоплазматические обломки печени отделяли при $700 \times g$ в течение 10 мин., а митохондрии— $9000 \times g$, 10 мин.

Чистоту митохондриальной фракции проверяли морфологическим и энзиматическим способами: фазовоконтрастным микроскопом и определением активности сукцинатдегидрогеназы (сукцинат: акцептор-оксидоредуктаза, КФ 1. 3. 99. 1) по методу Ваттенберга и Леонга [6]. Морфологический контроль показал, что митохондриальная фракция мозговой ткани состоит из цельных маленьких и крупных митохондрий. В не-

которых случаях обнаруживали обломки миелиновых оболочек.

Все операции, начиная с гомогенизации ткани до выделения митохондрий, проводили при температуре 0—3° С. Конечный осадок митохондрий суспензировали в 0,25 М растворе сахарозы и вносили в соответствующую реакционную смесь.

Изолированные митохондрии мозга и печени инкубировали в течение 1 часа при 26°. Инкубационная смесь содержала (в мкмольях): субстрат окисления—50 (сукцинат, глутамат и α -кетоглутарат), фосфат калия—40, KCl—100, $MgCl^{2-}$ —10, глюкозу—150, АТФ—3, 0,50—0,75 мг кристаллической гексокиназы (Sigma). Конечный объем 2,0—2,2 мл, pH—7,4. Митохондрии добавляли из расчета на 500 мг свежей ткани.

Поглощение кислорода определяли манометрическим [7] и полярографическим методами [8]. Неорганический фосфат определяли по методу Лоури и Лепез [9], с модификацией Скулачева [10] и Пили-Лохмена [11].

АТФ—фосфогидролазную активность определяли по увеличению неорганического фосфата в среде. Инкубационная смесь для определения активности фермента содержала 1,6 мл 0,25 М раствора сахарозы, 0,2 мл АТФ (20 мг АТФ в 1 мл), pH—7,4. Температура инкубации 26°, время—30 мин.

Все полученные данные рассчитаны на 1 мг белка: белок определяли методом Лоури и сотр. [12].

Результаты исследования

Результаты исследований показывают, что с 13 дня, то есть с начала плодной стадии онтогенетического развития куриного эмбриона до вылупления цыпленка коэффициент соотношения поглощенного кислорода митохондриями мозга и эстерифицированного фосфата (Р/О) постепенно уменьшается, если в качестве субстратов окисления взяты сукцинат, глутамат и α -кетоглутарат. Так, на 13 день инкубации Р/О при окислении сукцината составляет $1,92 \pm 0,104$, на 14 день— $1,83 \pm 0,057$, затем, постепенно понижаясь, на 20 день доходит до $0,79 \pm 0,022$. У 1—дневных цыплят оно равняется $0,85 \pm 0,045$. У кур Р/О снова повышается, составляя $1,92 \pm 0,063$ (все данные статистически достоверны).

При окислении глутамата коэффициент соотношения окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга эмбриона с начала плодной стадии до вылупления цыпленка также понижается. Как видно из приведенных данных на 13 день развития Р/О составляет $2,04 \pm 0,079$, на 15 день— $1,54 \pm 0,187$, на 18 день— $1,14 \pm 0,052$, на 21 день инкубации— $0,82 \pm 0,052$. У 2-х дневного цыпленка Р/О $0,89 \pm 0,019$, примерно на том же уровне оно сохраняется у кур ($1,01 \pm 0,040$).

Аналогичные результаты в отношении коэффициента окислительного фосфорилирования получены и в опытах, в которых субстратом окисления служил α —кетоглутарат.

Исследования показывают, что количество поглощенного кислорода митохондриями мозга в течение развития зародыша прогрессивно увеличивается, как при окислении сукцината, глутамата, так и в несколько меньшей степени в случае добавления α —кетоглутарата. Так, на 13 день развития эмбриона количество поглощенного кислорода митохондриями мозга при окислении сукцината составляет $1,92 \pm 0,101$ мкатом, на 14 день— $2,07 \pm 0,048$, затем повышаясь, на 17 день доходит до $4,90 \pm 0,236$, на 19 день— $7,99 \pm 0,375$ мкатом кислорода (на 1 мг белка). Количество поглощенного кислорода мозга 2—5 дневных цыплят составляет $7,74 \pm 0,204$ мкатом.

При окислении глутамата дыхание митохондрий в течение эмбриогенеза цыпленка также усиливается. Например, на 14 день количество поглощенного кислорода митохондриями мозга в присутствии глутамата составляет $4,14 \pm 0,131$ мкатом, на 18 день— $6,15 \pm 0,222$, а на 21 день— $7,35 \pm 0,392$ мкатом.

Аналогичные результаты в отношении окисления в течение развития получены и в опытах в присутствии α -кетоглутарата.

Интенсивность эндогенного дыхания митохондрий мозга в ходе развития эмбриона также усиливается. Например, количество поглощенного кислорода митохондриями при эндогенном дыхании на 13 день составляет $0,14 \pm 0,031$, на 17 день— $1,04 \pm 0,067$, а на 20 день— $1,25 \pm 0,154$ мкатом. Эндогенное дыхание митохондрий 2—5 дневных цыплят заметно понижается и составляет $1,10 \pm 0,040$ мкатама кислорода. У кур эндоген-

ное дыхание митохондрий мозга тоже низкое и составляет всего $0,28 \pm 0,021$ мккатом кислорода.

Полярографические исследования показывают также, что при окислении сукцината, глутамата и α -кетоглутарата по мере эмбрионального развития поглощение кислорода митохондриями мозга усиливается.

Таким образом, как показывают результаты наших исследований субстратное, а также эндогенное дыхание митохондрий мозга куриного эмбриона в ходе онтогенетического развития, начиная с плодной стадии, усиливается, а затем постепенно понижается после вылупления цыпленка—с 2—5 дневного возраста и уже у зрелых кур доходит до минимального уровня.

Что касается эстерификации неорганического фосфата в митохондриях мозга, то этот процесс при окислении глутамата и α -кетоглутарата более интенсивно протекает в начале плодной стадии, затем количество связанного фосфата постепенно понижается. Так, например, если на 13 день развития количество эстерифицированного фосфата в митохондриях при окислении глутамата составляет $11,27 \pm 0,317$, то затем постепенно понижаясь, на 20 день оно составляет всего $5,17 \pm 0,229$ мккатом. В митохондриях 1—5-дневных цыплят процесс эстерификации фосфата также замедляется. Однако при окислении сукцината уровень утилизации фосфата митохондриями в начале плодной стадии низкий, к 19-дневному возрасту повышается, затем резко спускается и, слегка повышаясь, остается на таком уровне до вылупления цыпленка.

При эндогенном дыхании фосфат не только не эстерифицируется, а, наоборот, высвобождается, и в среде увеличивается количество свободного фосфата.

Исследования, проведенные по изучению динамики активности аденозинтрифосфатазы, показывают, что в ходе эмбрионального развития ее активность в митохондриях мозга повышается. Так, например, на 13 день инкубации активность фермента составляет $1,70 \pm 0,062$, на 15 день— $1,88 \pm 0,039$, на 18 день повышается— $2,10 \pm 0,004$, а на 21 день составляет $2,38 \pm 0,129$ мккатом Р (на 1 мг белка). У однодневных цыплят активность фермента также высокая, у 2—8-дневных цыплят

она несколько понижается ($2,19 \pm 0,168$ мкатом Р), дальнейшее понижение АТФ-азной активности митохондрий мозга отмечается у зрелых кур ($1,88 \pm 0,129$ мкатом Р).

Полученные нами результаты показывают, что, начиная с плодной стадии эмбрионального развития до вылупления цыпленка, в митохондриях печени куриного зародыша соотношение окисления и фосфорилирования также постепенно понижается, как при окислении сукцината, глутамата, а также —кетоглутарата. Так например, при окислении сукцината Р/О на 13 день достигает $1,70 \pm 0,076$, на 17 день— $1,38 \pm 0,034$, затем, понижаясь, у 21—дневного эмбриона составляет всего $1,09 \pm 0,037$. В митохондриях печени кур Р/О составляет $0,94 \pm 0,070$.

Динамика субстратного дыхания митохондрий печени куриного эмбриона, в противоположность мозгу, в ходе онтогенеза спадает. Усиленное эндогенное дыхание митохондрий печени отмечается в начале плодной стадии эмбрионального развития, затем оно понижается и не претерпевает особых изменений до вылупления цыпленка.

Полярографические исследования также показывают, что высокое дыхание при окислении сукцината, глутамата и —кетоглутарата в митохондриях печени отмечается в начале плодной стадии.

Динамика процесса эстерификации фосфата в течение эмбриогенеза куриного эмбриона, начиная с плодной стадии развития, при окислении сукцината, глутамина α -кетоглутаровой кислоты спускается. При эндогенном дыхании фосфат не эстерифицируется, а наоборот высвобождается, и в инкубационной среде увеличивается количество свободного фосфата.

АТФ—фосфогидролазная активность в митохондриях печени в течение развития эмбриона повышается. Например, на 13 день количество отщепившегося фосфата составляет $1,31 \pm 0,100$, на 16 день— $1,74 \pm 0,28,1$ мкатама, затем, постепенно повышаясь, на 20 день оно составляет $1,97 \pm 0,150$.

Нам удалось из печени куриного эмбриона выделить отдельную фракцию, около 74% которой составляют липиды, а 25% — белки и белковоподобные вещества. Выделенная фрак-

ция желтого цвета, не растворяется в воде (можно только суспензировать), растворяется в ацетоне, эфире и в других жировых растворителях. По сравнению с другими компонентами гомогената эмбриональной печени, эта фракция легкая и при центрифугировании в условиях $0-3^{\circ}$ при $9000 \times g$ толстым слоем выделяется на поверхности надосадочной жидкости.

Еще в 1948 г. при микроскопическом изучении срезов печени куриного эмбриона Крок [13] в протоплазме с 9 дня развития обнаружил капельки жира. С возрастом накопление жиров в печеночных клетках увеличивается. Накопление жиров в печени эмбрионов уток наблюдал Махинько [14]. Но эти работы носили только описательно-морфологический характер и не выявили вообще физиологическую и биохимическую роль процесса накопления жиров в печени.

Интересно отметить, что окраска печеночной ткани зародыша в течение эмбриогенеза меняется. До 13—14-и дневного возраста печень эмбриона имеет такую же окраску как и у кур, затем она постепенно приобретает желтый оттенок и у 17—18 дневного эмбриона принимает интенсивно желтый цвет, который сохраняется и у 1—5 дневных цыплят. У месячных цыплят печень принимает свою нормальную окраску. Таким образом изменение окраски печени эмбриона в течение его развития, по-видимому, обуславливается появлением и исчезновением в ней вышеуказанной фракции.

Имея в виду, что образование липоидобелковой фракции в печени эмбриона сопровождается последовательным снижением уровня сопряженного окислительного фосфорилирования в тканях, мы предполагали, что появление этой фракции связывается с окислительно-восстановительными процессами. С этой целью исследовали влияние этой липоидобелковой фракции на процесс окислительного фосфорилирования митохондрий печени и мозга и на АТФ—фосфогидролазную активность. Затем для выяснения вопроса: специфично ли воздействие этой фракции на процессы окислительного фосфорилирования тканей птиц, мы испытывали ее влияние и на митохондрии печени и мозга кроликов и белых крыс.

Полученные нами результаты показывают, что под действием липоидобелковой фракции процесс окислительного фос-

Таблица 1

Действие липоидобелковой фракции на соотношение окисления и фосфорилирования митохондрий печени куриного эмбриона, субстрат-сукцинат (Р в мкатамах, $M \pm m$)

Контроль			Липоидобелковая фракция		
О	Р	Р/О	ΔO	ΔP	Р/О
$5,62 \pm 0,291$ (6)	$8,09 \pm 0,515$ (6)	$1,43 \pm 0,237$ (6)	$7,91 \pm 0,382$ (6) $P < 0,001$	$5,81 \pm 0,113$ (6) $P < 0,001$	$0,74 \pm 0,057$ (6) $P < 0,010$

Таблица 2

Влияние липоидобелковой фракции на соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга куриного эмбриона (Р в мкатамах, $M \pm m$)

Контроль			Липоидобелковая фракция		
О	Р	Р/О	ΔO	ΔP	Р/О
$6,92 \pm 0,060$ (8)	$5,81 \pm 0,392$ (8)	$0,85 \pm 0,033$ (8)	$8,55 \pm 0,329$ (15) $P < 0,001$	$3,54 \pm 0,159$ (15) $P < 0,001$	$0,42 \pm 0,030$ (15) $P < 0,001$

фосфорилирования как в митохондриях печени, так и мозга куриного эмбриона разобщается: дыхание усиливается, а эстерификация фосфата замедляется (табл. 1, 2), соответственно вдвое уменьшается коэффициент Р/О (все данные статистически достоверны).

При действии липоидобелковой фракции такое разобщение окислительного фосфорилирования намечается и в митохондриях мозга цыплят в постнатальном периоде (таблица 3).

Полярнографическое изучение дыхания показывает, что в течение первых трех минут инкубации дыхание митохондрий мозга цыпленка при действии этой фракции, по сравнению с контрольными пробами усиливается более, чем в 1,6 раза, а в печени—вдвое.

Опыты показывают, что под влиянием липоидобелковой фракции окислительное фосфорилирование митохондрий мозга кролика также разобщается (табл. 4). Из таблицы вид-

Таблица 3

Влияние липоидобелковой фракции на соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга 1-дневных цыплят (Р в мкатамах, $M \pm m$)

Контроль			Липоидобелковая фракция		
О	Р	Р/О	ΔO	ΔP	Р/О
$7,11 \pm 0,155$ (5)	$6,46 \pm 0,325$ (5)	$0,90 \pm 0,037$ (5)	$8,51 \pm 0,191$ (10) $P < 0,001$	$6,26 \pm 0,190$ (10) $P > 0,500$	$0,74 \pm 0,032$ (10) $P > 0,200$

Таблица 4

Действие липоидобелковой фракции на соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга кролика (Р в мкатамах, $M \pm m$)

Контроль			Липоидобелковая фракция		
О	Р	Р/О	ΔO	ΔP	Р/О
$5,25 \pm 0,052$ (4)	$10,43 \pm 0,064$ (4)	$1,98 \pm 0,013$ (4)	$5,13 \pm 0,309$ (5) $P > 0,500$	$0,65 \pm 0,050$ (5) $P < 0,001$	$0,12 \pm 0,008$ (5) $P < 0,001$

но, что окислительное фосфорилирование в митохондриях мозга кролика под влиянием этой отдельной фракции разобщается сильнее, чем у куриных эмбрионов. Такое же влияние фракции отмечается на окислительное фосфорилирование в митохондриях печени кролика (табл. 5).

Такое же действие липоидобелковая фракция оказывает и при окислении митохондрий мозга и печени белых крыс (табл. 6). Под влиянием фракции Р/О в митохондриях мозга белых крыс, по сравнению с контролем, понижается почти вдвое, настолько же уменьшается количество сопряженного фосфата.

Полученные данные показывают, что при наличии липоидобелковой фракции АТФ—фосфогидролазная активность митохондрий мозговой ткани и печени куриного эмбриона повышается. Так, в контрольных опытах количество неорганиче-

Таблица 5

Действие липоидобелковой фракции на соотношение окисления и фосфорилирования митохондрий печени кролика, субстрат-сукцинат, Р в мкатамах, $M \pm m$

Контроль			Липоидобелковая фракция		
О	Р	Р/О	ΔO	ΔP	Р/О
$7,16 \pm 0,308$ (4)	$8,02 \pm 0,247$ (4)	$1,12 \pm 0,014$ (4)	$4,00 \pm 0,251$ (4) $P < 0,001$	$1,13 \pm 0,318$ (4) $P < 0,001$	$0,26 \pm 0,060$ (4) $P < 0,001$

Таблица 6

Влияние липоидобелковой фракции на соотношение окисления и фосфорилирования в митохондриях мозга белых крыс (Р в мкатамах, $M \pm m$)

Контроль			Липоидобелковая фракция		
О	Р	Р/О	ΔO	ΔP	Р/О
$4,45 \pm 0,122$ (5)	$6,51 \pm 0,044$ (5)	$1,46 \pm 0,003$ (5)	$4,54 \pm 0,054$ (6) $P = 0,500$	$3,43 \pm 0,162$ (6) $P < 0,001$	$0,75 \pm 0,032$ (6) $P < 0,001$

ского фосфата расщепленного АТФ—фосфогидролазой, составляет всего $1,59 \pm 0,099$ мкатама Р, а при действии фракции оно, увеличиваясь, доходит до $2,18 \pm 0,072$. Под влиянием фракции активность фермента мозга 1—дневных цыплят повышается более, чем в два раза.

Такое же влияние липоидобелковая фракция оказывает на АТФ-азную активность мозга и печени кроликов. Активность фермента мозга кроликов под действием этой фракции повышается в 2,5 раза.

Таким образом, результаты наших исследований показывают, что уровень окислительного фосфорилирования в митохондриях мозга и печени, начиная с плодной стадии развития куриного эмбриона вплоть до вылупления цыпленка, понижается. Параллельно с этим усиливается свободное окисление, за счет которого повышается температура тела зародыша. В ходе эмбрионального развития повышается и активность ми-

тохондриальной АТФ—фосфогидролазы, вследствие чего усиливается расщепление макроэргов.

С другой стороны, исследования показывают, что в печени куриного эмбриона с середины плодной стадии эмбрионального развития образуется липоидобелковая отдельная фракция, которая сохраняется у 4—5 дневного цыпленка. Затем эта фракция, постепенно уменьшаясь, исчезает у одно-полуторамесячных цыплят. Полученные данные показывают, что основную часть этой фракции составляют липиды. Под действием этой липоидобелковой фракции окислительное фосфорилирование митохондрий мозга и печени разобщается и интенсивно активируется АТФ—фосфогидролаза.

Обнаруженные значительные сдвиги в энергетическом обмене имеют важное биологическое значение в развитии цыпленка как для обеспечения постоянной температуры тела, так и для подготовки к самостоятельному существованию после вылупления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Отрыганьев Г. Х., Хмыров В. А., Колобов Г. М.* Инкубация, Изд. Колосс, 77, 1964.
2. *Третьяков Н. П.* Журн. Природа, № 9, 79, 1949.
3. *Lillie F. R.* The development of the chick. N. Y., 1930.
4. *Potter V. R., Elvehjem C. A. J.* Biol. Chem., 114, 2, 495—504, 1936.
5. *Mandel P., Borkowski T., Harth S., Mardell R. J.* Neurochem., 8, 126, 1961.
6. *Wattenberg L. W., Leong J. L., J.* Histochem. Cytochem., 8, 296, 1960.
7. *Умбрейт В. В., Буррис Р. Х., Штауффер Дж. Ф.* Манометрические методы изучения тканевого обмена. ИЛ, М., 1951.
8. *Гейровский Я.* Полярографический метод. Теория и практическое применение. ОКТИ, 99—126, М., 1937.
9. *Lowry O. H., Lopez J. A., J.* Biol. Chem., 162, 421, 1946.
10. *Скулачев В. П.* Соотношение окисления и фосфорилирования в дыхательной цепи. М., 1962.
11. *Pell J. L., Loughman B. C.* Biochem. J., 65, 709, 1957.
12. *Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J.* J. Biol. Chem., 193, 265, 1951.
13. *Крок Г. С.* Труды Харьковского вет. ин-та, т. 20, 42—47, 1949.
14. *Махинько В. И.* Биохимизм и энергетика эмбрионального развития сельскохозяйственных птиц. Материалы симпозиума по основным проблемам возрастной физиологии и биохимии. Изд. Харьковск. Гос. Университета, 52—66, 1965.

ГЛАВА VIII

ЯЗЫКОЗНАНИЕ

В этой статье речь пойдет о том, что такое язык, каковы его функции, как он развивается, каковы его разновидности, каковы его законы, каковы его особенности, каковы его законы, каковы его особенности, каковы его законы, каковы его особенности.

Язык — это средство общения между людьми.

Язык — это средство общения между людьми.

Язык — это средство общения между людьми.

Алфавит	Алфавит — это система знаков, с помощью которых передаются звуки речи.
Грамматика	Грамматика — это система правил, с помощью которых строятся предложения.
Словарь	Словарь — это список слов, употребляемых в языке.
Синтаксис	Синтаксис — это система правил, с помощью которых строятся предложения.
Семантика	Семантика — это система правил, с помощью которых передаются значения слов.
Фонетика	Фонетика — это система правил, с помощью которых передаются звуки речи.
Морфология	Морфология — это система правил, с помощью которых строятся слова.
Лексика	Лексика — это система правил, с помощью которых передаются значения слов.
Стилистика	Стилистика — это система правил, с помощью которых строятся предложения.
Языкознание	Языкознание — это наука о языке.

В. Н. ХАЧАТРЯН

ДРЕВНЕАРМЯНСКИЕ ТОПОНИМИЧЕСКИЕ НАЗВАНИЯ, УПОМЯНУТЫЕ В ХЕТТСКИХ ИСТОЧНИКАХ И ХАТТО-ХУРРО-ХЕТТСКИЕ СУФФИКСЫ В АРМЯНСКОЙ ТОПОНИМИКЕ

Древнеармянские топонимические названия, упомянутые в хеттских источниках

В этой статье нами предлагается ряд хетто-армянских топонимических параллелей, локализация которых является темой нашей предстоящей работы. Ниже приводятся эти параллели по разделам с объяснениями суффиксов и звуковых изменений.

а) Названия древнеармянских племен

армянские	хеттские
Aršuniq	URK Aršaša—KUB XXXI 44 I 12;
Mehruniq	KUR URU Meḫri—KBo IV 14 III 68;
Šaḫapuniq	KRU Šaḫaputta—HT 2V 3;
Salkuniq	Šāla—HG I 54;
Mandakuniq	Manda—HG I 54;
Sureanq	URU Šura—KBo II 16 I 1;
Mamikoneanq	URU Mammakunanta—KBo II 7 II 24;
Hajkazniq	URU <u>H</u> ajaša, URU Azzī—KUB X 82, 5; KBo VI 28 I 11;
Angel tun	URU Angala—KUB XXXI 65 Rs. 4;
Vižuniq	KRU Wišawanda, ^d wanda—KBo III 6 II 26; KUB XXXII 123 IV 36.

Хеттский суффикс—аša, который дает в армянском—aš, в

данном армянском примере Aršuniq заменен составным суффиксом—uni + q. Этим же суффиксом заменены хурритский—utta в слове Šaḥarutta, который дает в армянском—uth. В слове же Bazananda заменен—anda, который дает в армянском—and. В остальных случаях вместо армянского—uniq хеттское название ничего не имеет, или же заменяет другим словом (^{URU}Wišawanda, ^dWandu, Vižuniq). Суффикс—eanq заменяется суффиксом—anda в слове Mamtakun. Название древнеармянского нахарарского дома Hajkazniq, образованное суффиксом—niq, является отражением крупного племенного союза Hajaša-Azzi, часто упоминающегося в хеттских источниках. Как выяснилось, aša является хеттским суффиксом и соответствует армянскому—aš. Как Manda в армянском дает Mandakuni, Šala-Salkuni, так и Haj вместе с Azzi дает Hajkazniq (сравни с Atdz-ni-q). В данных примерах мы имеем дело с суффиксами ласкательными—ak и—ik: Satik дает Salk, Hajik дает Hajk (-ak < -akaA1, -ik < <ikaAз).

К сожалению местонахождение нахарарского дома Hajkazniq не определено до сих пор в арменоведческой литературе. Но в Gahnamake нахарарский дом Hajkazniq упоминается как один из княжских престолов Армении. Некоторые арменисты считают, что в названии Hajaša-ša является суффиксом, но это не обосновывается (см. суффикс-aša). Нахарарский дом Mamikoneanq, согласно армянским историкам пятого века, основали Матак и прадед Конак—предки дома Mamikon-ов. В одном слове -i- является соединительным гласным. В словах Мамак и Конак—ak, как известно, является суффиксом. В хеттских источниках упомянутое Mamtakunanda, образовано суффиксом—anda. В нем -a- является соединительным гласным. Суффикс—anda, который соответствует армянскому—and, выражает значения собирательности. Армянское Mamikoneanq можно перевести „Мамикониды“. Предки Mamikon-ов Мамак и Конак упоминаются в хеттских источниках в качестве отдельных божеств, почитаемых в основном в городе ^{URU}Dunna, который соответствует армянской деревне Дуна в Тайке, где жили Mamikon-иды. Богиня ^dMamma (ср. ^{sa1}Mamma) и бог

«Kunijawa» очень часто упоминаются в ряду хеттских богов. Имя Kunijawa образовано суффиксом теофорных имен-*wa* (ср. «Pirwa», «Zaparwa»). Данное теофорное имя, по всей вероятности, образовалось от имени человека, так как суффикс *-ja* кроме топонимических названий, образует имена людей (сравни «Marija», «Anija», «Manija»). Следовательно, существование армянина—прадеда Конака как личности было до бога «Kunijawa». Упоминание о Мамаке и Конаке имеет очень глубокую древность у армянских историков V века. Название нахарарского дома Angei образовано суффиксом *-ei*, который соответствует хеттскому *-eia* (A₂). В хеттском же вместо *-ei* это название имеет *-ala*. В названиях URU Wišawanda (ср. «Wandu») в армянском *š* превращался на *ž*, а *-n* является окончанием винительного падежа. Во многих случаях, как в хеттском, так и в армянском, когда к слову присоединяется суффикс, само слово выступает в форме вин. падежа с окончанием *-n*: «Dawantina», «Dawa», URU Ma-pašuri («Šuri»), Ma-pa-pa-i (в армянском) и т. п.

Местонахождение следующих названий древнеармянских племен неизвестно. Возможно сопоставление хеттских данных с армянскими даст возможность впоследствии решить эти вопросы. Приведем их с хеттскими параллелями:

Afawaneanq,	KUR URU Arawanna—KUB XXIV 3 II 40;
Afaneanq	URU Arana—KUB X VI 43 I 40;
Arcunig	URU Arzija—KUB XXXI 8 3R. 8;
Aružeanq	URU Arušna—KUB XXII 70 Vs. 1;
Barmeajq	URU Barmanna—KUB XIV 13 I 13;
Buxa	URU Puḫanda—Bo 4889, 38;
Xaḫbeanq	URU Halpa—KBo III 1 I 27;
Kamxeajq	USU Kamaḫa—KUB XXXI 68 Vs. 18;
Kinan	KUR URU Kinnara—KUB XXXI 4Vs. I 1;
Aruanq	URU Arwana—KBo II 5a II 26;
Araean	URU Arauna—KUB XXVI 69 VI 6;
Sisaneanq	URU Sisana—KBo I 1 II 34;
Trunig	URU Tirqa—KBo I 1 II 19;
Kadmeajq	URU Gadumaššija—KUB XIX 27 I 6;
Thorgomakan	URU Turguma—KBo IV 4 III 45;
Manuelean	URU Manuzija—KUB XV 11 II 12;

Приведенные хетто-армянские топонимические параллели в звуковом отношении почти очень мало отличаются друг от друга. В основном, суффиксы разны. Армянский суффикс того же названия или заменяется, или вообще хеттская параллель суффикса не принимает. В словах *Aṭapeanq*, *Aṭavapeanq* *í* соответствует хеттскому *r*. Клинопись не имеет возможностей передать *í* ни в каком слоге. Все слоговые знаки, имеющие *г* (*ag*, *ig*, *ug*, *ga*, *gi*, *gu*, *gak* и т. п.), не имеют разновидностей, звучащих *fa*, *gi* и т. п.

В названиях *Agušna* *š* превращается в армянском на *ž*. В отношении фонетических изменений с хеттского на армянский пока нами не выявлены такие важные звуковые явления, которые получили бы своего должного объяснения. Все звуковые изменения понятны на своем месте и не вызывают серьезного сомнения. Например, звук *š* клинописи соответствует армянскому *s* и *ž*. Всем известно, что хеттская клинопись не может передавать *s* и для *s* употребляются слоговые знаки, имеющие в себе *š*. Нет слоговых знаков в хеттском, имеющих в себе *s*. Иногда *š* клинописи соответствует армянскому *ž*. В клинописи нет знака, передающего *ž*, следовательно *ž* хетты передали через *š*, который очень близок по звучению к *ž*.

В отношении же звонких и глухих можно сказать, что как в хеттском это незакономерное явление, так и в армянском во многих случаях в разговорной речи закономерности не существует; речь идет об отклонении от общих существующих правил. Так, в хеттском, в основном слова имеют глухие *k*, *p*, *t*, но их колебание с *g*, *b*, *d* очень часто. Определить в этом какую-то закономерность очень трудно, видимо ее и не существует.

В арменоведческой литературе очень подробно и основательно обсужден переход согласного *l* на *l̥*. Но таким же образом было невозможно установить, при каких обстоятельствах и условиях *l* переходит в *l̥*, и при каких остается таковым. В армянском оно произвольно, поэтому когда речь идет о переходе *l* в *l̥*, точно указывается в каких словах. В других же словах *l* может сохраниться.

При сопоставлении названия племени *Maznuniq* с хеттским *Mazananda* ясно, что а в хеттском слове является лишним. Клинопись же может лишние гласные иногда передавать (см. HEL § 22), так как клинописные знаки слоговые. Гласные е, і взаимозаменяемы (см. HEL § 40). Согласный *th* в клинописи передается через *t*.

В названии *Камхеајq*, которое образовалось от *Катах* (ср. *Ani-Катах*, древнеармянский город), отпал гласный а. Предком древнеармянского племени *Kadmeajq*, как повествуют древнеармянские историки пятого века, является *Kadmos*. В хеттском мы имеем название *Gadumaš*, в котором и лишнее, а в конце место армянского о занимает а. Ниже приводим список древнеармянских племен с хеттскими параллелями, названия которых служили также для обозначения областей:

<i>Aldznig</i>	URU <i>Alzija</i> —KUB XIX 20 I 3;
<i>Xordzeanq</i>	URU <i>Hurziuna</i> —KBo IV. 13 I 40;
<i>Kordug</i>	URU <i>Gurta</i> —KBo I 1 II 54;
<i>Hašteanq</i>	URU <i>Aštena</i> —KUB V 1 73;
<i>Harqeanq</i>	URU <i>Horkija</i> —KBo III 67 IV 8;
<i>Havnuniq</i>	URU <i>Hawalija</i> —KUB XXVI 43 I 45;
<i>Mokaçiq</i>	KUR UHU <i>Mukiš</i> —KBo I 4 II 14;
<i>Paluniq</i>	URU <i>Palunna</i> —KUB XXXIV 43, 8;
<i>Vanand</i>	URU <i>Wannanda</i> —KUB XXXI 65 ieR. 7;
<i>Tawrberan</i>	URU <i>Tauriša</i> —KUB 52 I 3;
<i>Basen</i>	URU <i>Šalipaššona</i> —KUB XXVI 50 I 12;
<i>Daštkarinq</i>	URU <i>Kariuna</i> —KUB VI 46 III 36;
<i>Xarxořuniq</i>	HUR. SAG <i>Huwahhuwaršuwanda</i> —AUB XXVI 42 I 17;
<i>Mananai</i>	URU <i>Manazija</i> —KBo V 6 I 45; (URU <i>Zijazija</i>)— KUB XXIII 68 II 14.

В вышеприведенном списке племен подчеркнуты все суффиксы. В таблицах можно найти их все. Мы здесь оста-

новимся на тех, которые требуют дополнительных объяснений.

В названии *Hurziuna i* является соединительным гласным, как в армянской параллели *е*. Но в армянском соединительный гласный *е* уже получил закономерное употребление с суффиксами (*-е- anq*). В хеттском же все гласные выступают в качестве соединительных гласных как между корнями, так и между корнем и суффиксом. В некоторых названиях хеттской топонимики согласные звуки отличаются от тех же звуков в армянских параллелях по звонкости и глухости: *Korduq*, *Gurta*, *Harqeanq*, *Harkija*, *Basen*, *Pasan*. Название Кордук армянской губернии у греческих авторов упоминается как *Gordiene* (см. Р. Ачарян, „Страбон“, стр. 15, 45, 55). Область Басен у армян произносится и как Пасен (в диалектах).

В названии *Hašteanq h* является или наращением, или следствием народной этимологии (*ašt-ena* как место *haštenic* т. е. жертвоприношений). Отсюда и *Hašteanq*.

Вследствие народной этимологии название *Hav-uniq*, как упоминают древнеармянские историки, звучало *hav-uniq* „курицу—имеющие“. Корень *hav* воспринимался как „курица“, а суффикс—*uni* как 3 л. ед. ч. наст. вр. *uni* „имеет“. Название *KUR^{URU}Mukiš*, которое так часто встречается в хеттских текстах, звучит *Muks*, так как этот корень в качестве имени человека пишется *ṁMukšuš* с окончанием им. п. *-us*. У греческих авторов губерния Мукис упоминается как *Moksene* (см. АЭЮ, стр. 338). В армянских же источниках очень редко упоминается *Moks*, но последний *-s* отождествляется с окончанием вин. п. мн. ч. существительных *-s*. В названии *Tawtuberan* и является соединительным гласным, а *beran* „род“ (см. Гр. Капанцян, ХКА, стр. 222). В названии *šalliprašana* *Šalli* означает „большой“ (см. НВb. стр. 179). Название *Daškaring* образовано от слова *dašt* „поле, равнина“ и *Karin*. В названии *HUR-SAG^{HUR}huršuwanda* второй компонент *šuwanda* является причастием хеттского языка от глогола *šuwai* — „лить, наполнять“ (см. НВ стр. 200). Ниже приводится спи-

сок названий армянских и некоторых кавказских племен, упомянутых в хеттских источниках:

<i>Armina</i> ,	URU Armana—KUB XXIII 27 I 8;
<i>Armina</i> ,	URU Armani—KBo III 13, 13;
<i>tana</i> „второй“ (Hwb, 209),	URU Armotana—KUB XXXIV 32, 10;
<i>Šarian get</i> ,	J'D Šarijana—KBo V 7 I 12;
<i>Šarin lefner</i> ,	HUR. SAG Šariana—KBo I 4 IV 28;
<i>Šarian</i> ,	KUR URU Šarianda—KUB XXIII 28 I 7;
	URU Haliputta—KUB XI 33 IV 7;
<i>Xalip</i> ,	HUR. SAG Halipi—KBo I 1 12;
<i>Kaspeniç</i>	KUR URU Kašipa—KBo II 6 II 15;
<i>Lak</i> ,	URU Lakku—KBo II 5 III 28;
<i>Laz</i> ,	URU Lazumija HT 2 I 19;
<i>Alan</i>	URU Alana—KBo IV 10 I 25;
<i>Awaraciç</i> ,	HUR. SAG Auwara—Avo II 1 II 10;
<i>Kazbuniç</i> ,	URU Gazpašša—KUB XIX 10 I 21;

Этноним армянского народа *Армен* (по-хеттски звучало бы *армена*) в Бехистунской надписи Дария I-го образован суффиксом—*ina* *Armina*, (см. Бехистунская надп. 1, стр. 12—17 49—63). А в хеттских текстах упоминается с суффиксом или—*ана* или—*ани* (*Armaça*, *Armani*).

Река Маназкерт и горы Армянского Пара называются вторично *Šarian*. Халипы, как армено-халипы, упоминаются у греческих авторов (см. Р. Ачарян, „Страбон“, стр. 57, 88). В названии *lazumija* *m* является наращением; обычно появляется между двумя гласными, как в армянском *w* или *j*. Звук *w*, согласно законам хеттской фонетики, может превратиться в *m* (см. HEI § 29).

Выше мы привели, не считая ряда названий соседних армянских племен и народов, около шестидесяти названий древнеармянских племен, упомянутых в хеттских источниках. Ниже приводятся названия древнеармянских областей, упомянутых в хеттских текстах.

б) Названия древнеармянских областей

Azordaç phor (= *Az- ordiq* KUR URU *Azzi*—KUB VIII 2 III 16; -ordiq),

<i>Atiovit</i> ,	URU <i>Ališa</i> —KBo IV 13 I 25;
<i>Adruanq</i> ,	URU <i>Adrija</i> —KBo XIV 3 I 37;
<i>Arac</i> ,	UHU <i>Arazašija</i> —KUB XXVI 43 I 30;
<i>Ašaruniq</i> ,	KUR URU <i>Aššaratta</i> —KUB XXIII 21 II 4;
<i>Balahovit</i> ,	URU <i>Palapalašša</i> —KUD XXIV 43 I, 33;
<i>Marand</i> ,	URU <i>Maranda</i> —HT 91, 9;
<i>Xojth (Xuth)</i> ,	URU <i>Hutnuwanda</i> —ABO IV 10 I 20;
<i>Korčajq</i>	KUR KRU <i>Kuršaura</i> —KBo III 13, 15;
<i>Harq</i> ,	URU <i>Haranda</i> —KUB XXVI 43 I 44;
<i>Sper</i> ,	URU <i>Zippiri</i> —KBo III 21 III 14
<i>Taron</i> ,	KUR URU <i>Taruīša</i> —KUB XXIII 11 19;
<i>Utiq</i> ,	URU <i>Uti</i> —KUB XIX 56 LRd. 4;
<i>Erxethq</i> ,	URU <i>Erhita</i> —KUB XXIV 34;
<i>Pianq</i> ,	URU <i>Pi</i> —KUB XIX 55 LRd. 3;
<i>Ainojotn</i>	RRU <i>Arnija</i> —KUB XXVI 39 IV 23;
<i>Sanasunq</i>	URU <i>Šananta</i> —KUB XXVI 43 I 44;
<i>Karthuniq</i>	URU <i>Karta</i> —KBo II 12 II 31;
<i>Aland-rot</i> ,	URU <i>Allanda</i> —HT 2 I 13;

Конечно, здесь приведены не все хетто-армянские параллели названий областей, так как мы еще не провели специальных научных исследований в этом направлении.

Армянское племя *Azordiq* „сыновья *Az*“ занимали особую территорию в Западном Тайке. Этот район назывался *Азордац пор* (сравни Севордик „сыновья *Сев*“, от имени которых называлось озеро *Сев-ан*). Именно эти *Az-ordiq* являются наследниками KUR URU *Azzi*. В последнем названии *i* может не звучать, так как клинопись не может без гласного передавать согласный звук (ср. KUR URU *Hatt-i* и др.). В названии *Adruanq* -*u*- является соединительным гласным. Данное название встречается и в форме *Adruniq*. В названии *Hutnuwanda* мы имеем в наличии в качестве второго компонента слово *nuwa* „новый“. Название *Sper* образовано суффиксом -*er* (<*era*), а в хеттском—*iri* (*Zipiri*). Внутри корня *i* лишний (сравни URU *Ziplanda*, URU *Landa*).

От армянского названия *Taron* в хеттском образовано *Taruīša*, а от *Karin*—*Kariuna*. В названии *Sanasunq* -*asun* „говорящий“ является причастием от *asel* „говорить“.

В названии же *Atandrot* последняя компонента является армянским словом, которое сохранилось в ряде восточно-армянских названий. Здесь мы привели хетто-армянские параллели названий областей. Ниже приводятся параллели названий городов и гор.

в) Названия древнеармянских городов

Kamah,	URUKamahā—KUB XXI 68 Vs. 18;
Xorñi,	URUHurnija—KUB VI 46 II 66;
Hamara,	URUHamara—KUB XXVI 44 I 40;
Haх,	URUHahha—KBo III 6 II 8;
Abarne,	URUAwarda—KBo XIX 50 LRd. 1;
Arčeš,	URUArteša—KBo II 7 II 34;
Qiš,	KUR URUKiššija—KBo III 4 III 48;
Maraš,	URUMaraša—KBo XIV 1 II 52;
Phatakan	URUPara—KBo III 46 I 43;
Baleš,	URUPališna—KUB X III 72 II 34!
Ba berd „крепость“	URVPa—KUB V 1 98;
Duna,	URUDunna—HT 2 XI 7;
Vartanakert	URUWartana—KUB XXVI 43 I 24;
Covq,	URUZuwinnašša—KUB XXVI 43 I 44;
Qali,	UCUKaliumna—KUB VI 45 III 53;
Gandza,	URUGanzana—HT2 V 20;
Kaše,	KUR URUKaššija—KUB XIX 10 I 10;
Alašgirt,	URUAlašša—KUB XXVI 43 I 43;
Ani,	URUAniša—KUB XXVI 50, 16;
Muš,	URUMušuni—KUB XV 19, 14;
Soq,	URUŠuqqa—KBo III 34, III, 16;
Sodq,	URUŠuta—KBo I 1 I 26;
Otakan,	URUŪlakani—KBo I 2 II 32;
Uitu,	URUUltu—KUB XXXI 3R. 11;
Ureq,	URUUriga—KUB X III 68 II 21;
Axula,	UHUAbhulašša—KUB XI 5, 15;
Adana,	URUAdanija—KUB X 52 I 17;
Xarput,	URUHarputta—KUB XIX 19 II 8;
Malatija,	URUMaltija—KUB XXXI 103 Rd. 4;
Van (=Vjan),	URUWijanawanda—KBo V 13 I 30;
	^d Wandu—KBo IV 11 Rsd. 47;

Masius	URU Maššijaš—KUB XXVI 43 I 29;
Ardos,	URU Ardušša—KUB XXVI 43 I 39;
Arnos,	URU Arnuša—KBo IV 10 II 27;
Abala,	URU Apala—KUB XXVI 50 I 15;
Kašiar	HUR. SAG Kašijara—KBo I 4 I 19;

В следующих названиях конечные гласные в армянском отпадают: Катаһа, Катах, Наһһа Хах, Артеша, Арчеš, Мараša, Мараš, Урига, Уреq, Алаšša, Алаš, Šuqqa, Соq. В остальных армянских названиях несколько раз встречается суффиксированное слово *kert* || *gert*. Многие названия древнеармянских племен, городов и областей имеют свои соответствия среди хеттских теофорных имен.

г) Названия древнеармянской топонимики, встречающиеся в хеттских текстах в качестве теофорных имен и имен людей:

города

Nigal,	^d Niggal—KUB XXIX 8 I 22;
Qika.	^d Ulka—KUB XXII 69, 16;
Adamakert,	^d Adamma—KUB XX 93 VI 6;

племена и области

Dzołkert	^d Zulija—KUB X 89 II 13;
Tušuniq	^d Duš—KUB XXXI 8 3Rs. 14;
Араһuniq,	^d Appa—KUB XXVII 38 III 16;
Mamakan,	^d Mamma—XXVII 67 III 59;
Cophq Šahuneac	^d Šaḥa—KUB XXVII 19 III 9;
Akeajq,	^m Akija—KUB XXIII 68 II 19;
Nairi,	^m Nairi—KUB XXIII 78 II 17;
Bazuniq,	^m Pazzanda—KUB XIV 15 I 13;
Cophaçiq,	^m Zuppa—KBo III 60 III 7;
Aiovit	^d Ali—KUB XXIV 7 I 23;

Возможно, наращением являются *h* в названии Араһuniq от ^dAppa. Кроме вышеприведенных, нам кажется уместным здесь привести хетто-армянские параллели теофорных имен.

Alq,	^d Alla—KUB XXXIV 102 II 12;
------	--

Huri,	^d Huri—KBo VI 28 II 22;
Jarino,	^m (* ^d)Jarinu—KUB XXX 44 Rs. 8;
Lele,	^d Leluri—KUB XXX 40 II 3;
Hingala,	^d Hingallu—KUB XVI 120 II 8;
Nar,	^d Nara—KUB XMXIII 105 I 10;
Ara,	^d Ara—KUB XVII 20 II 7;
Konak,	^d Kunijawa—KBo V 9 IV 9;

Армянские боги Nar, Ara сопоставлены с хеттскими еще Г. Капанцяном (см. Гр. Капанцян МБА, стр. 274—276, 295—300). Боги же, Alq, Huri, встречаются в проклятиях и рассказах. Остальные (Alelu, Jarino, Lele, Hingala) поются в народных песнях.

Хатто-хурро-хеттские суффиксы в армянской топонимике

Материалы для этой части почерпнуты из работы академика С. Т. Еремяна „Армения по „Ашхарацуиц“-у“ (армянской „Географии“ VII века), к которой приложена обширная карта Армении седьмого века. Работа является объяснением этой карты. Последняя представляет собой научную реконструкцию „Ашхарацуиц“-а. Мы пользовались работой „Армения в эпоху Юстиниана“ Н. Адонца, в которой собраны и проанализированы данные древнеармянских и древнегреческих источников по армянской топонимике.

В этих двух работах проанализированы все данные о древнеармянской топонимике. На основании этих богатых и довольно хорошо изученных материалов мы постарались показать суффиксы древнеармянской топонимики по их языковой принадлежности в клинописный период. Мы рассмотрели суффиксы древнеармянских племенных названий отдельно от названий областей.

а) Названия древнеармянских племен

Изучение суффиксов древнеармянских племенных названий показало, что из 150—56 образованы суф-

фиксом—*uniq*. Первая компонента составного суффикса является хурритской (—*un* см. в таблице—*ana* B₄), вторая же компонента -*q*—суффиксом хеттской группы языков (см. -*aqa* A₅). Ниже приводится список племенных названий с хурро-хеттским составным суффиксом—*uniq*:

<i>Añnewunig</i>	<i>Eruandunig</i>	<i>Maznunig</i>
<i>Apekunig</i>	<i>Xorxoñunig</i>	<i>Vañnunig</i>
<i>Arcunig</i>	<i>Catkunig</i>	<i>Řazmunig</i>
<i>Artakunig</i>	<i>Cañthunig</i>	<i>Sahañunig</i>
<i>Amatunig</i>	<i>Hawnunig</i>	<i>Sañkunig</i>
<i>Aspagnunig</i>	<i>Hamasgunig</i>	<i>Spandunig</i>
<i>Arcunig</i>	<i>Hañkazunig</i>	<i>Sparunig</i>
<i>Arñunig</i>	<i>Maħaunig</i>	<i>Sařunig</i>
<i>Apahunig</i>	<i>Mandakunig</i>	<i>Vaagraspunig</i>
<i>Atrpatunig</i>	<i>Mardpetunig</i>	<i>Vahanunig</i>
<i>Bodunig</i>	<i>Mehrūnig</i>	<i>Vaħewunig</i>
<i>Božunig</i>	<i>Mərunig</i>	<i>Vardzawunig</i>
<i>Bagraspñnig</i>	<i>Šahapunig</i>	<i>Vižanunig</i>
<i>Bagrātunig</i>	<i>Palunig</i>	<i>Vižunig</i>
<i>Baznūnig</i>	<i>Řaštunig</i>	<i>Vərdñjunig</i>
<i>Bužunig</i>	<i>Ordunig</i>	<i>Tərdātunig</i>
<i>Gazčunig</i>	<i>Sagrastunig</i>	<i>Phařačunig</i>
<i>Gəñunig</i>	<i>Xəñunig</i>	<i>Qařberunig</i>
<i>Gəñthunig</i>	<i>Kaznūnig</i>	

Всего 56 племенных названий имеют составной суффикс—*un* + *q* с первым хурритским и вторым хеттским компонентами.

Около 55-и племенных названий образованы составным суффиксом *e*—*an* + *q*, первой компонентой которого опять является хурритский (см.—*ana* A₁), второй же компонентой—хеттский суффикс—*qa* (см. *aqa* A₅). Ниже приводится список племенных названий, имеющих составной суффикс *e*—*an* + *q* (данный суффикс присоединяется к слову через соединительный гласный—*e*):

<i>Ašħadareanq</i>	<i>Ařaneanq</i>	<i>Asčšnean(q)</i>
<i>Ařawaneanq</i>	<i>Aruelean(q)</i>	<i>Aružeanq</i>

Manuetean(q)	Ašxagoreanq	Raphseanq
Yripeanq	Aštišateanq	Sureanq
Saprasameanq	Araveteanq	Varazatakeanq
Xaibeānq	Gamreanq	Vareanq
Hamastunean(q)	Dimaqseanq	Tlqeanq
Varazatikeanq	Zarehawaneanq	Qaŕeanq
Vardeŕeanq	Xaŕteanq	Qawpeanq
Varžnunean(q)	Kadmeanq	Qoŕeanq
Fathewean(q)	Kajušeanq	Abeteanq
Tagrean(q)	Kortheanq	Ajrarateanq
Ekeŕeanq	Hambužeanq	Ašoçeānq
Xordzeanq	Hamboceanq	Artašateanq
Hašteanq	Harqeanq	Gabeŕeanq
Qaŕueanq	Mardateanq	Tajgreanq
Abrahamean(q)	Sisaneanq	Turberaneanq
Ašahmarean(q)	Mamikoneanq	

Составной суффикс $e-an+q$ может присоединиться к слову и без соединительного гласного e : *Baguanq*, *Gazrikanq*,

Но без него— anq редко употребляется. Суффикс— $uniq$ иногда встречается в виде— $oniq$: *Phoqajoniq*. Название племен *Gisonq* образовано составным суффиксом $on+q$, первая компонента которого хурритская и соответствует— ina (A_4). Название же $encajēniq$ образовано от хурритского— eni (B_2) и— q (см. там же— aqa $A_5=qa$, которое в армянском дает q). В названиях же $Aidz-ni-q$, $Siu-ni-q$ мы имеем хурритское— ni (B_5 от— ana см. там же). Около 119-и названий армянских племен (всего из 150-и, приблизительно) образованы составным суффиксом и первым хурритским и вторым хеттским компонентами. Следующие названия древнеармянских племен имеют только хурритские суффиксы: — an — *Zandaŕan*, *Mamakan*, *Muračan*, *Kinan*;

— en — *Basen*

— in *encaqin*, *Karqajin*;

Суффикс — an соответствует хурритскому— ana (A_1), суффикс — en — хурритскому — ena (см.— ana A_2 , там же), суффикс же— in хурритскому ina (от— ana A_3 , см. там же). Суффикс $a-j-in$ является разновидностью суффикса— in :

иногда—*in* присоединяется к слову через соединительный гласный *a*, а между гласными тогда появляется *j*.

Ряд названий древнеармянских племен имеет хеттский суффикс—*q*:

<i>Dramandq</i>	<i>Vorsapetq</i>	<i>Tajq</i>
<i>Arqasoçtiarq</i>	<i>Qaṭaqapetq</i>	<i>Taširq</i>
<i>Zanaxčirapetq</i>	<i>Daštkarinq</i>	<i>Kordudq</i>
<i>Šahoṛapetq</i>	<i>Cophq</i>	

В названии *Kordudq* мы имеем в наличии суффикс — *uq* (от — *aqa* A_3).

Некоторые названия образованы от составных суффиксов, компоненты которых в качестве суффиксов употребляются в хеттской топонимике и являются чисто хеттскими.

Например:

(e) — <i>aj</i> + <i>q</i>	— <i>açiq</i> + <i>q</i>	— <i>oç</i> + <i>q</i>
<i>Barmeajq</i>	<i>Awasaçiq</i>	эпсајпосq
<i>Goroṭuajq</i>	<i>Tamraçiq</i>	
<i>Urceajq</i>		
<i>Kamxeajq</i>	<i>Tamberaçiq</i>	
<i>Sruandzteajq</i>	<i>Andzewaçiq</i>	
<i>Akeaajq</i>	<i>Mokaçiq</i>	

Составной суффикс—*aj*—*q* присоединяется к слову через соединительный гласный *e* (редко без него). Суффикс—*aj* соответствует хеттскому—*aja* A_1 , *q*—*aqa* A_5 . Суффикс—*açiq*— хеттскому *aza* (B_1), *oç*—*aza* (A_4).

Нами приведены почти все названия древнеармянских племен, обсуждены их суффиксы и определена их языковая принадлежность.

б) Названия древнеармянских областей

При анализе суффиксов названий древнеармянских областей выяснилось, что около сорока пяти из них не имеют никакого окончания. Ниже приводится их список:

<i>Akē</i>	<i>Aṭue</i>	<i>Aṭan</i>
<i>Aṭiwn</i>	<i>Alandrot</i>	<i>Araç</i>

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ХАТТО-ХУРРО-ХЕТСКИХ СУФФИКСОВ В СРАВНЕНИИ С АРМЯНСКИМИ

	Хатто-армянские суффиксы				Хурро-армянские суффиксы				Х е т т с к и е с у ф ф и к с ы																											
	хаттские	армянские	хаттские	армянские	хурритские	армянские	хурритские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хеттские	армянские	хурритские	армянские				
A ₁	-ara	-ar, -ar	-ala	-at	-ana	-an, -an	-ata	-at	-aša	-aš	-anda	-and	-awa	-aw	-aja	-aj	-ama	-am	*-eqa	-eq	*-aza	-ač	-aka	-ak	*-ašta	-ast	*-anka	-ank				-ač				
A ₂	-era	-er	*-ela	-et	-ena	-en, -en	-eta	-eth	-eša	-eš	-enta	-enč	*-ewa	-ew	*-eja	-ej	*-ema	-em	*-eqa	-eq	*-eza	-eč	*-eka	-ek	*-ešta	-est						-eč				
A ₃	-ira	-jr	-ila	-il, -it	-ina	-in	-ita		-iša	-iš	-inta	-ind -inč -inj	-iwa	-iw	-ija	-i	-ima	-im	-iqa	-Iq	*-isa	ič	-ika	-ik	*išta	-ist						-ič, -ič				
A ₄	-ura	-ur, -ur -or	*-ula	-ul, -ut	-una	-on, un	-uta	-ut, -uth	-uša	-uš, -oš	-unta	-und, -unč, -unj	-uwa	-ow	-uja	-oj	-uma	-on	*-uqa	-uq, -oq	*-uza	-uč, -oč	*-uka	-uk	*-ušta	-ust	*-unka	unk	*-uška	-osk-		-uč, -nč -oč, -oč	*-urda	-urd		
A ₅	*-ra	-r-	*-la	-l-	-na	-n-	-ta	-t-	-ša		*-nda	-nd-, nč- -nj-	-wa	-u			-ma		-qa	-q			*-ka	-k-	*-šta	-st-, št-										
B ₁			-ali	-ali, -ati	-ani	-ani	-ati	-ati	-aši		-anti	-andi									*-azi	-ači	*-aki	-aki	-ašti	-asti	-anki					*-rda	-rd-, -rt- -rč			
B ₂	-eri		*-eli	-eli	-eni	-eni	-eti				-enti						*-emi	-enf			*-ezi	-eči									-ardi					
B ₃	-iri		-ili		-ini		-iti		-iši		-inti						-imi]	-.			*-izi															
B ₄	-uri		-uli		-uni	-uni, -oni	-uti	-oti					*-uwi	-owi			-umi				*-uzi	-oči														
B ₅			-li		-ni	-ni	-ti	-ti	-ši	-ši			-wi	-wi							-zi	-či	-ki													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		

Artaz	Kethik	Šaṭagom
Artahan	Koṭ	Šarur
Boṭxa	Koṭ	Vostan
Gar̄ni	Koṭ	Oqaṭe
Gzex	Her	Paruar
Dalār	Čuaršrot	Sper
Dasan	Məzur	Tatik
Dasnawor	Mazaz	Taron
Thoṭnawan	Naxčawan	Tosp
Jšajr	Nig	Tři
Xujth	Šakašen	Tuaracataph
Karin		

Следующие названия образованы хурритским суффиксом — an: *Gabethean*, *Gazrikan*, *Baqan*, *Gukan*, *Harčlan*.

Некоторые из них имеют составные суффиксы (—uni— q, —an— q, —en— q, —unq), первая компонента которых является хурритским суффиксом (см.—uni B₄, —ana A₁, —ena A₂, —una A₄, в таблице). Приведем эти названия: *Ašmuniq*, *Boguniq*, *Geṭaquniq*, *Karthuniq*, *Važnuniq*, *Varažnuniq*, *Vajuniq*, *Trpatuniq*, *Mothoṭanq*, *Vorsiranq*, *Muxanq*, *Kuenq*, *Sanasunq*.

Все вышеупомянутые названия образованы хурритскими суффиксами, только в составных суффиксах второй компонентой является хеттский q (см.—qa—A₅).

Имеются названия областей, которые образованы суффиксами:

—and— *Vanand*, *Bagrevand*, *Zarevand*, *Haband*, *Marand*;

—aj— q— *Korčajq*, *Kotajq*;

—ak— *Erñak*, *Širak*, *Aṭbak*;

—uk— *Čluk*;

—ači— q— *Andzewaçiq*;

—q— *Atahečq*, *Algaṭq*, *Mokq*, *Batq*, *Erxethg*, *Thṭelq*,
Kangaṭq, *Kṭarṭq*, *Harq*, *Čakatq*, *Čakq*, *Ṭawaxq*,
Sawdq, *Utiq*.

—iq— *Arewiq*, *Degiq*, *Ekeṭiq*;

—eq— *Goṭeq*,

Суффикс —and соответствует хеттскому —анда (A₁), —aj= —aja (A₁), —ak=aka (A₁), —uk=uka (A₄), ači=(B₁), q=qa (A₅), iq=iqa (A₃), eq=eqa (A₂).

Некоторые названия образованы древнеармянским суффиксом —akan:

Kovsakan, Nihorakan, Sisakan, Vaspurakan.

Другие же образованы хеттским суффиксом —ali: Darana¹, Mardani (ali=ati B₁). Несколько названий образовано суффигрированным словом tun: Palnatun. Три названия образованы древнеармянскими суффиксами —kert, —stan: Mahkert, Nphrkert, Mardastan. Суффигрированными словами образуются следующие названия областей:

- phor „долина“ — Azorodaç phor, Berdaç phor, Mangleaç phor, Partizaç phor, Bojno phor, Cobophor, Kolbophor, Dzorophor, Kuişaphor;
- ovit— „долина“ — Aliovit, Argastovit, Arčişakovit, Balahovit, Kogovit, Kuşanovit;
- dzor — „овраг*“ — Andzaxi dzor, Arueniç dzor, Vajoc dzor, Berdaç dzor, İermadzor, Salnoj dzor.
- beran „род“ — Arberan, Turuberan
- otn— „подножие“ — Arnojo²tn, Aragaco²tn, Maseaçotn.

Не считая суффигрированных слов, которые всегда целиком армянские, все названия и суффиксы древнеармянских областей встречаются в хурритском и хеттском. Таким образом, вслед за историко-лингвистическими исследованиями Г. А. Капанцяна и работам последних лет С. М. Айвазяна, нами на основе богатого фактического материала окончательно устанавливается не только бесспорность существования древнеармянского государства Хайасы («колыбели армян»), но и конкретно определяются его границы в пределах всего Армянского нагорья.

СОДЕРЖАНИЕ

С. К. Погосян. Молодежь Армении—в авангарде коммунистического строительства	5
Глава I. Механика	
А. М. Симонян, М. Пределян. Некоторые теоремы линейной теории ползучести	13
Глава II. Физика	
В. М. Арутюнян. Электромагнитные колебания в резонансной среде	23
А. Р. Туманян. Питание датчиков Холла импульсным током	33
Глава III. Электроника	
Г. Г. Бахиян. О вторичной электронной эмиссии из тонких пленок	39
Глава IV. Автоматика	
Р. Г. Акопян. Импульсный регулятор на гидроаэродинамическом принципе действия	51
Глава V. Химия	
Л. А. Мкртчян. Получение полубелого стекла на осисве горных пород Армении	57
Глава VI. Геология, геохимия, геофизика	
С. М. Айвазян. Ряды сходности элементов	75
С. А. Паланджян. О составе акцессорного магнетита интрузивных пород юго-восточной части Севанского хребта	117
С. А. Пирузян. Метод уточнения исходной сейсмической бальности для целей микросейсморайонирования и детального сейсморайонирования	123

Глава VII. Биология, биохимия

С. Г. Мовсесян. Деаминирование и реаминирование никотинамид-аденин-динуклеотидов в мозговой ткани	147
А. А. Симонян. Исследование окислительного фосфорилирования в митохондриях мозга и печени куриного эмбриона в течение онтогенетического развития и в постнатальном периоде . .	167

Глава VIII. Языкознание

В. Н. Хачатрян. Древнеармянские топонимические названия, упомянутые в хеттских источниках и хатто-хурро-хеттские суффиксы в армянской топонимике	181
--	-----

Технический редактор

Л. А. АЗИЗБЕКЯН

Контрольный корректор издательства

Дж. А. САРКИСЯН

Художник

П. К. ПОГОСЯН

ВФ 06363

Заказ 21

Тираж 500

Сдано в производство 12/1 1967 г. Подписано к печати 23/III 1967 г.

Печ. 12,5 л. + 2 вкл., уч-изд. 10,2 л., бумага 60×92¹/₁₆.

Цена 1 р.

Типография Издательства АН Армянской ССР,
Ереван, ул. Барекамутян, 24.

15680