

АНАЛИЗ ПРОГНОЗА СТОКА СТРОНЦИЯ-90 С ВОДАМИ р. ТЕЧА

Ю.Г. Мокров

ФГУП ПО «Маяк», г. Озерск Челябинской области



Проанализированы результаты прогноза радиоактивного загрязнения р. Теча, сделанного 10 лет назад с использованием простой прогностической модели, основанной на результатах гидрологического контроля, данных радиохимического мониторинга речной системы и экспертных оценках поступления ^{90}Sr в открытую гидрографическую систему. Показано, что полученные ранее прогнозные оценки в целом хорошо соответствуют современным экспериментальным данным о стоке ^{90}Sr в средней части р. Теча (с. Муслюмово). Подтвержден сделанный ранее вывод о том, что в настоящее время речная система р. Теча находится в режиме стабилизации радиоактивного загрязнения. Для построения будущих прогнозов предлагается использовать уточненные данные о мощности источника фильтрационного поступления ^{90}Sr из водоемов Теченского каскада в открытую гидрографическую систему.

ВВЕДЕНИЕ

С началом эксплуатации в 1948 г. производственного объединения (ПО) «Маяк», гидрографическая система верхней части р. Теча претерпела ряд существенных изменений, связанных с созданием в верховье реки Теченского каскада водоемов (ТКВ) и обводных каналов [1].

В настоящее время водное питание р. Теча в верховье формируется стоком воды по левобережному и правобережному каналам (ЛБК и ПБК). Гидрологические наблюдения и контроль радиоактивного загрязнения воды в каналах регулярно проводятся, начиная с 60-х годов, в рамках программы штатного мониторинга ПО «Маяк». Укрупненная блок-схема материальных потоков, характеризующая источники водного питания и поступления радионуклидов в р. Теча [2, 3], приведена на рис. 1.

На некоторых участках ТКВ водоемы В-10 и В-11 вплотную примыкают к разделительным дамбам, сооруженным вдоль каналов. Существует фильтрационная связь между каналами и водоемами, причем выше «нулевой» точки (точка, где уровни воды в канале и водоеме равны) фильтрация направлена от канала к водоему, а ниже «нулевой» точки – от водоема к каналу. Поступление активности в воды ЛБК и ПБК определяется фильтрационными и сорбционными свойствами грунтов разделительной дамбы и разностью уровней воды в водоемах В-10, В-11 и в каналах.

Часть фильтрующейся через плотину воды перехватывается дренажной системой и возвращается обратно в водоем В-11. Другая часть воды, фильтрующейся под телом плотины и через дно водоема, не перехватывается дренажной системой и в конечном итоге разгружается в р. Теча. По некоторым оценкам общие фильтрационные потери из водоема В-11 могут достигать 10 млн. $\text{м}^3/\text{год}$ [1].

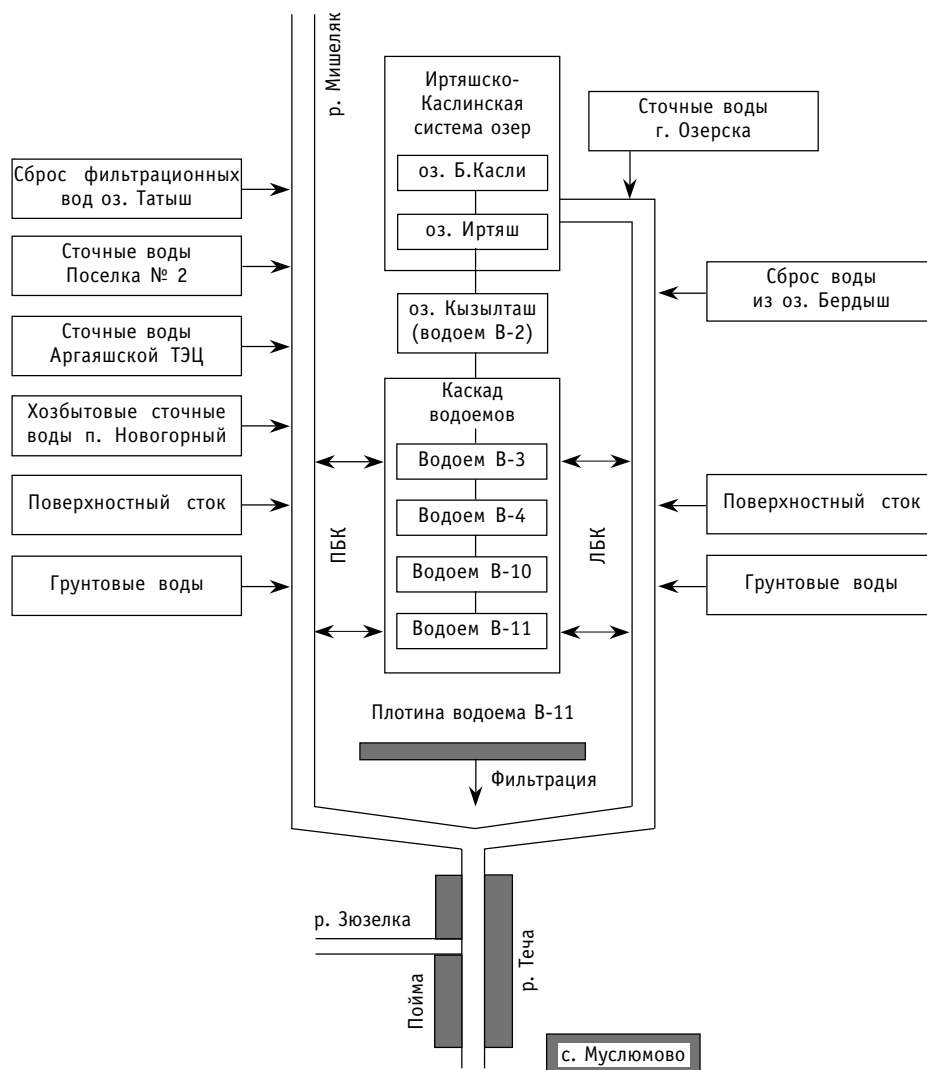


Рис. 1. Упрощенная блок-схема водных потоков в верхней части р. Теча

Начиная с середины 50-х годов по настоящее время, радиоактивное загрязнение воды р. Теча обусловлено ^{90}Sr .

Основным источником поступления ^{90}Sr в каналы до 1987 г. являлся поверхностный сток радионуклидов с прилегающих территорий, загрязненных в результате аварии 1957 г. Начиная с 1987 г., когда уровень воды в водоеме В-11 превысил отметку 215,5 м, загрязнение воды в каналах ^{90}Sr стало определяться процессом фильтрации воды из водоема В-11 в ЛБК и ПБК.

До середины 90-х годов основным (до 70-80%) источником загрязнения воды р. Теча являлась заболоченная пойма реки в районе Асановских болот [4]. Вымывание ^{90}Sr из поймы происходило в результате взаимодействия воды реки с загрязненными пойменными грунтами, как собственно речных (паводковых) вод во время разлива реки, так и стекающих из поймы в речное русло поверхностно-склоновых и грунтовых вод.

Предварительный прогноз радиоактивного загрязнения р. Теча был впервые сделан в середине 90-х годов [2, 3, 5].

Прогноз основывался на простой сорбционной модели, содержащей один полуэмпирический параметр α -коэффициент «вымывания». Значение параметра $\alpha = 4,0 \cdot 10^{-4}$ млн.м⁻³ было получено [3] на основе результатов штатного гидрологического и радиохимического мониторинга (1986-1989 гг.) с использованием оцененного [6] значения запаса ⁹⁰Sr в пойме и донных отложениях р. Теча на участке от плотины П-11 до с. Муслюмово (1200 Ки – на конец 1988 г.).

При построении прогноза использовались значения мощности фильтрационных источников поступления ⁹⁰Sr из водоемов ТКВ в ЛБК и ПБК, полученные методом экспертных оценок. В период с 1994 по 2001 гг. на ПО «Маяк» был выполнен комплекс экспериментальных исследований по уточнению параметров источника фильтрационного поступления ⁹⁰Sr из водоемов ТКВ (В-10 и В-11) через боковые дамбы в ЛБК и ПБК [7, 8].

В настоящей работе приведен анализ выполненного ранее прогноза [2, 3, 5] с использованием полученных новых данных штатного мониторинга и уточненных значений мощности источника фильтрационного поступления ⁹⁰Sr в открытую гидрографическую систему.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Основные положения предложенной ранее [3, 5] прогностической модели получены в предположении, что в течение некоторого промежутка времени $t = T$ мощность источника поступления ⁹⁰Sr в речную систему (на входном створе) D_1 и расход воды на выходном створе Q постоянны во времени.

В работах [3, 5] было показано, что изменение во времени запаса активности ⁹⁰Sr, депонированного в пойме и донных отложениях верхнего участка р. Теча (от створа плотины П-11 до створа с. Муслюмово) $A(t)$, можно описать следующим простым уравнением:

$$A(t) = A_0 e^{-\tau t} + \frac{D_1}{\tau} (1 - e^{-\tau t}), \quad (1)$$

$$\tau = \lambda + \alpha Q,$$

где A_0 – активность ⁹⁰Sr, депонированного в пойму, на момент времени $t = 0$, Бк; α – константа «вымывания», не зависящая от времени, обратно пропорциональна (с точностью до постоянного множителя) коэффициенту распределения K_d и некоторым интегрированным образом учитывающая все возможное многообразие сорбционных свойств всех компонентов речной системы на рассматриваемом участке реки; λ – постоянная распада ⁹⁰Sr (0,0241 год⁻¹); Q – водный сток (млн. м³/год) через выходной створ (с. Муслюмово); D_1 – скорость поступления ⁹⁰Sr через входной створ (плотина П-11) рассматриваемого участка реки, Бк/год.

Если продолжительность временного интервала равна T (календарному году), то интегральные значения параметров, характеризующих основные составляющие баланса активности ⁹⁰Sr в речной системе можно записать в виде:

- $R_d = \lambda \int_0^T A(t) dt$ – распад активности, депонированной в пойме и донных отложениях речной системы;
- $R_L = \alpha Q \int_0^T A(t) dt$ – радиоактивный сток ⁹⁰Sr на выходном створе реки.

В этом случае баланс активности в речной системе можно записать в виде

$$A(T) = A_0 + D_1 - R_d - R_L. \quad (2)$$

Для практических расчетов, когда необходимо учесть изменение во времени параметров D_1 и Q , можно использовать разбижку всего временного периода T на дискретные промежутки времени Δt_j ($T = \sum_j \Delta t_j$), и для каждого интервала времени j (календарный год) определить усредненные (в пределах данного временного интервала) значения параметров Δ_{1j} и Q_j . В этом случае уравнение (1) переходит в следующую систему рекуррентных уравнений:

$$A_j = A_{j-1} e^{-\tau_j \Delta t_j} + \frac{D_j}{\tau_j} (1 - e^{-\tau_j \Delta t_j}), \quad (3)$$

$$\tau_j = \lambda + \alpha Q_j, \quad j=1, 2, \dots, n,$$

где n – число временных интервалов; Δt_j – временной интервал, равный одному году ($\Delta t_j = 1$).

Из анализа уравнения (1) следует, что при $t \rightarrow \infty$

$$A(t) = \frac{D_1}{\tau} = \frac{D_1}{\lambda + \alpha Q} = A_\infty, \quad (4)$$

т.е. при постоянной (среднегодовой) скорости поступления радионуклидов на входном створе и постоянном (во времени) расходе воды на выходном створе запас ^{90}Sr в пойме со временем застabilизируется на некотором постоянном уровне A_∞ . Расчетные значения запаса A_∞ в зависимости от значений вышеуказанных параметров D_1 и Q приведены в табл. 1.

Если процесс стабилизации запаса ^{90}Sr в пойме установился, то поступление стронция в систему D_1 полностью компенсируется процессами радиоактивного распада и вымывания.

Таблица 1

Значения установившегося запаса ^{90}Sr в пойме р. Теча A_∞ на участке плотина П-11 с. Муслюмово, Ки

Расход воды в Муслюмово Q , млн.м ³ /год	Поступление стронция-90 на входном створе D_1 , Ки/год				
	5	10	20	30	50
10	178	356	712	1068	1780
20	156	312	624	936	1560
60	104	208	416	624	1040
100	78	156	312	468	780
150	59	119	238	357	595
250	40	80	160	240	400

Таблица 2

Зависимость вклада процессов радиоактивного распада и вымывания ^{90}Sr из поймы в зависимости от водного стока Q . Режим стабилизации, %

Процесс вывода стронция из поймы в долях от поступления	Водный сток Q , млн.м ³ /год					
	10	20	60	100	150	250
Радиоактивный распад, %	86	75	50	38	29	19
Вымывание, %	14	25	50	62	71	81

При $Q = \lambda/\alpha = 60$ млн.м³/год количество распавшегося ⁹⁰Sr равно радиоактивному стоку. Зависимость вклада вышеуказанных процессов в зависимости от водного стока Q приведена в табл. 2.

АНАЛИЗ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК

Результаты расчета по уравнениям (2) и (3) стока и общего баланса активности ⁹⁰Sr на участке р. Теча от створа плотины П-11 до створа с. Муслюмово за период 1989-2003 гг. приведены в табл. 3.

Результаты штатного мониторинга водного и радиоактивного (⁹⁰Sr) стока за период 1987-2003 гг. представлены в табл. 4.

ВЫВОДЫ

Анализ данных, приведенных в табл. 3 и 4, позволяет сделать следующие выводы.

1. До 1994 г. сток ⁹⁰Sr в средней части реки (с. Муслюмово) был в 3-5 раз больше, чем в верхней части реки (через ГТС). В этот период времени от 75 до 90% стока активности ⁹⁰Sr в средней части реки было обусловлено вымыванием из Асановских болот. Среднегодовая удельная активность ⁹⁰Sr в воде среднего течения реки до середины 90-х гг. практически не зависела от поступления этого нуклида с гидротехнических сооружений верховья, а определялась, в основном, величиной текущего запаса ⁹⁰Sr в заболоченной части верховья реки (Асановские болота).

2. Начиная с середины 90-х годов, запас ⁹⁰Sr в заболоченных верховьях р. Теча снизился до такого уровня (около 700 Ки на конец 1997 г.) при котором, с учетом сорбционных свойств заболоченных участков верховья реки и сложившегося темпа поступления ⁹⁰Sr через гидротехнические сооружения (20-50 Ки/год), наблюдается устойчивая тенденция к стабилизации (или даже росту) запаса указанного радионук-

Таблица 3

Основные составляющие баланса ⁹⁰Sr в речной системе р. Теча за период 1989-2003 гг. на участке от створа плотины П-11 до с. Муслюмово: A_j , $R_{d,j}$, $R_{L,j}$ (расчетные данные)

Год	Текущий запас активности ⁹⁰ Sr на конец года A_j , Ки	Распад ⁹⁰ Sr $R_{d,j}$, Ки/год	Сток ⁹⁰ Sr в створе с. Муслюмово $R_{L,j}$, Ки/год
1989	1145,0	28,3	46,7
1990	1065,7	26,7	87,5
1991	1005,0	25,0	50,1
1992	937,9	23,5	57,1
1993	852,7	21,6	90,2
1994	769,7	19,6	84,3
1995	736,9	18,2	32,2
1996	716,2	17,5	14,5
1997	704,3	17,2	17,9
1998	688,6	16,8	16,9
1999	658,1	16,3	43,6
2000	591,8	15,1	74,2
2001	578,1	14,1	58,3
2002	554,0	13,7	75,8
2003	543,1	13,2	47,4
1989 – 2003	–	286,8	796,7

Таблица 4

Суммарный водный сток и суммарный сток ^{90}Sr в верховье реки через ГТС (ЛБК, ПБК, фильтрат П-11) и в створе с. Муслюмово за период 1987–2003 годы (экспериментальные данные)

Год	Общее поступление с ГТС		р. Теча (с. Муслюмово)		Отношение (2)/(1)
	Расход, млн. м ³ /год	Сток ^{90}Sr , Ки/год (1)	Расход, млн. м ³ /год	Сток ^{90}Sr , Ки/год (2)	
1987	97,7	16,7	164,0	87,4	5,2
1988	60,9	14,2	107,0	48,4	3,4
1989	62,7	20,0	99,6	53,5	2,7
1990	155,0	34,9	198,0*	88,6	2,5
1991	87,3	14,3	121,0*	50,9	3,6
1992	110,0	13,5	147,0*	57,9	4,3
1993	202,0	26,5	252,0*	90,5	3,4
1994	209,0	20,9	260,0*	84,8	4,1
1995	65,7	17,6	107,0	30,1	1,7
1996	29,7	11,3	49,9	18,3	1,6
1997	44,5	23,2	63,1	18,4	0,8
1998	35,6	18,0	60,5	21,7	1,2
1999	188,0	29,4	162,0	33,7	1,2
2000	259,0	22,9	297,0	35,3	1,5
2001	235,0	58,6	249,0	68,8	1,2
2002	259,1	65,4	335,0*	94,2	1,4
2003	166,3	49,8	216,2*	61,4	1,2
1989 – 2003	2108,9	426,3	2617,3	808,1	–

* расчетные значения (расход воды не измерялся)

лида в верховье р. Теча (см. табл. 3). Уровень стабилизации (значение запаса ^{90}Sr в заболоченных верховьях реки) прямо пропорционален годовому поступлению этого радионуклида через гидротехнические сооружения и (в первом приближении) обратно пропорционален годовому водному стоку.

3. «Режим стабилизации» характеризуется условием, при котором поступление ^{90}Sr в речную систему (с гидротехнических сооружений) полностью компенсируется процессами радиоактивного распада и вымывания этого радионуклида, а радиоактивный сток остается постоянным по всей длине реки (см. табл. 4).

Долевое соотношение между указанными процессами вывода стронция из загрязненной поймы (в «режиме стабилизации») определяется только значением среднегодового водного стока для средней части реки (створ с. Муслюмово). При «режиме стабилизации» доля радиоактивного распада в общей убыли ^{90}Sr (или, что то же самое, в поступлении) может изменяться от ~90%, при водном стоке 10 млн.м³/год до ~20%, при 250 млн.м³/год (50% при стоке 60 млн.м³/год).

4. Экспериментальные данные о радиационном стоке ^{90}Sr в створе с. Муслюмово (см. табл. 4) в целом хорошо, в пределах экспериментальной погрешности (~30%), совпадают с соответствующими расчетными значениями (см. табл. 3). Хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных подтверждает корректность созданной ранее прогностической модели и результатов прогнозных оценок стока ^{90}Sr с водами р. Теча [3, 5].

5. При проведении в будущем прогнозных расчетов стока ^{90}Sr необходимо использовать уточненные параметры источника фильтрационного поступления ^{90}Sr из водоемов ТКВ в ПБК [7] и ЛБК [8].

6. По данным штатной системы мониторинга ПО «Маяк», всего за последние 15 лет (1989-2003 гг.) через створ с. Муслюмово прошло ~808 Ки ^{90}Sr , что хорошо совпадает с соответствующими результатами расчета – 797 Ки (см. табл. 3). Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных позволяет утверждать, что не существует других значимых источников поступления ^{90}Sr в речную систему р. Теча (кроме контролируемых фильтрационных источников поступления ^{90}Sr из ТКВ в воды ЛБК и ПБК).

Следует отметить, что в пределах одного календарного года (когда мощность фильтрационного источника можно считать практически постоянной) удельная активность воды р. Теча в створе с. Муслюмово может изменяться (в зависимости от сезонного расхода воды в реке Q) от 1-2 Бк/л (в паводок при $Q \geq 20 \text{ м}^3/\text{с}$) до 30-40 Бк/л (в межень при $Q \approx 1 \text{ м}^3/\text{с}$).

Литература

1. Садовников В.И., Глаголенко Ю.В., Дрожко Е.Г., Мокров Ю.Г., Стукалов П.М. Современное состояние и пути решения проблем Теченского каскада водоемов // Вопросы радиационной безопасности. – 2002. – № 1. – С. 3-14.
2. Мокров Ю.Г. Прогноз переноса стронция-90 с водами р. Теча. Часть I // Вопросы радиационной безопасности. – 1996. – № 1. – С. 20-27.
3. Мокров Ю.Г. Прогноз переноса стронция-90 с водами р. Теча. Часть II // Вопросы радиационной безопасности. – 1996. – № 2. – С. 28-34.
4. Колосов И.А. Изучение самоочищения рек, загрязненных долгоживущими радиоактивными изотопами : Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук // Институт прикладной геофизики. – М., 1968. – 226 с.
5. Мокров Ю.Г. Прогноз стока радионуклидов с водами р. Теча в створе пос. Муслюмово на период до 2030 г. / В сб. информационных материалов IV Южно-Уральских общественных слушаний (с. Кунашак, 6 октября 1999 г.). – Кунашак, 1999. – С. 60-76.
6. Шаралапов В.И., Голощапов П.В. и др. Выявление источников формирования выноса радионуклидов в р. Теча: Предварительное заключение / ПО «Маяк», ФИБ-4. – Челябинск, 1991.
7. Мокров Ю.Г., Антонова Т.А. Оценка параметров источника фильтрационного поступления стронция-90 из Теченского каскада водоемов в правобережный канал // Вопросы радиационной безопасности. – 2000. – № 4. – С. 17-30.
8. Мокров Ю.Г., Антонова Т.А., Антропова Е.В. Оценка параметров источника фильтрационного поступления стронция-90 из Теченского каскада водоемов в левобережный канал // Вестник естественных наук. – 2004 (в печати).

Поступила в редакцию 29.11.2004

УДК 621.039.51

On Safety Non-reactor Management of Fissile Materials when a Weak Neutron Source is Available \ Yu.V. Volkov, V.V. Frolov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 5 pages, table, 3 illustrations. – References, 5 titles.

The authors have studied factors contributing into delay of accelerating process when a linear input of super criticality into a system containing fissile materials takes place, there being a weak inherent internal neutron source.

A straightforward procedure of assessing mean time of delay for the acceleration process as well as the multiplication factor at which the process starts developing have been proposed

УДК 621.039.526

Physical Model of Stress-strain State of BN-type Reactor Absorber Pins in Conditions of Absorber-cladding Mechanical Interaction \ A.A. Touzov, A.A. Kamaev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 7 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 12 titles.

The main problem arising at evaluating the control rod absorber elements efficiency of the BN-type reactors for conditions of absorber high burn up is a correct account of swelling absorber cladding mechanical interaction. To solve this task there has been developed a physical model of complicated stressed-strained state calculation for the absorber element under steady operation conditions. Main hypotheses have been formulated for the scheme of cladding loading due to inner pressure of the absorber stack with taking into account of swelling and creep effects and unidirectional plastic strains for cladding. The list of initial data required has been defined.

An analysis of published domestic and foreign data for recorded cases of cladding failure as a result of mechanical interaction with absorber has been carried out. Based on the analysis results the test model for verification of the calculation procedure element efficiency evaluation has been chosen, and initial data for calculations have been prepared.

УДК 502.3: 546.42

Analysis of Forecast of Sr-90 Run-off with the Techa River Water \ Yu.G. Mokrov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 7 pages, 4 table, 1 illustration. – References, 8 titles.

Analysis of the Techa River contamination forecast made 10 years ago, is made with the use of a simple prediction model based on hydrological monitoring of the river system and expert assessments of ^{90}Sr inflow into the open hydrographic system. It is shown that prediction estimated obtained earlier correspond to up-to-date tasks on Sr-90 runoff in the Techa River middle stream (Muslyumovo village). The conclusion is approved that at the moment the Techa River system in the sate of radioactive contamination stabilization. For future predictions it is proposed to use verified data on ^{90}Sr filtration capacity from the from the Techa Reservoir cascade in the open hydrographic system.

УДК 621.039.75

Deactivating Polymeric Coats on the Basis of Butylacrilate Latexes \ M.A. Tuleshova, V.K. Milinchuk; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 6 pages, 4 tables, 1 illustration. – References, 9 titles.

In the article the results of investigation of formation and surface properties of deactivating polymeric coats on the basis of butylacrilate latexes on modeling solid substrates (steel 3, stainless steel, micarta, poly (methyl methacrylate) (PMMA)) is given. Set that the heating-up period of films depends on minimum temperature of formation of a film. The interfacial tensions of latex films lie in an interval from 32 up to 43 mJ/m², solid substrates – from 37 – 46 mJ/m². The share polar builders of interfacial tension for all polymeric films is approximately identical and makes ~ 70 %; for solid