

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ (Вычислительные системы)

1996 год

Выпуск 157

УДК 519.767.6

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПОИСК ПРИЗНАКОВ, ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХ МЕЛОДИИ ПО НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ¹

И. В. Бахмутова, В. Д. Гусев, Т. Н. Титкова

В в е д е н и е

Категории повторности, вариативности и иерархичности играют важную роль в организации эволюционно развивающихся языковых систем. Примером таких систем являются естественные языки, генетические (первичные структуры ДНК — молекул и белков), музыкальные (древнерусские знаменные песнопения, современные народные песни и т.п.). Количественные характеристики повторности, вариативности и иерархичности служат основой для решения различных классификационных задач, возникающих при анализе текстовых данных. При этом характеристики, оказавшиеся информативными для одной языковой системы, часто переносимы на другие языковые системы.

Особенно ярки проявления повторности и вариативности в музыкальных произведениях. Наряду с общими

¹Работа выполнена в рамках проекта N96-06-80576а, поддержанного Российским Фондом Фундаментальных Исследований

закономерностями, присущими всем музыкальным произведениям, существуют специфические особенности, формируемые на языке повторов и отражающие особенности жанра, эпохи, отдельного композитора и т.п. Поэтому музыкальные тексты служат хорошим полигоном для отработки методики решения классификационных задач языковой природы.

Авторами работы предложен ряд конструкций, позволяющих количественно характеризовать проявления повторности и вариативности в различных текстах [1-3]. Специфика конкретной языковой области отражается обычно в системе кодировки исходных текстов, матрице близости элементов алфавита, перечне допустимых редакционных операций и т.д. Применительно к музыкальным произведениям мы будем ориентироваться на систему кодирования нотного текста, предложенную Р.Х.Зариповым [4]. Она не позволяет восстановить текст однозначно, но достаточно хорошо сохраняет индивидуальность мелодии, о чем свидетельствуют эксперименты по выявлению заимствований [5].

Совокупность различных количественных характеристик повторности и вариативности в сочетании с предложенной Р.Х.Зариповым системой кодирования нотных текстов образуют эффективный инструмент для анализа музыкальных произведений. *Целью работы является иллюстрация классификационных возможностей разработанного аппарата на примере выявления характеристик, позволяющих дифференцировать песенные мелодии по признаку национальной принадлежности.* Данная задача уже привлекала внимание музыковедов на уровне ритмических характеристик [6], игнорируемых в системе кодировки Зарипова.

Начальным импульсом для авторов послужили работы по выявлению заимствований (возможно, неосознанных) в подборках русских и французских народных песен. Было замечено, что в примерно одинаковых по объему подборках количество похожих мелодий, близость которых улавливается на слух, существенно выше во француз-

ской подборке, чем в русской. Это обусловило интерес к выявлению тех специфических особенностей французских мелодий, которые отличают их от русских, и наличием которых мог бы быть объяснен вышеупомянутый эффект. В дальнейшем для контрастности была добавлена третья подборка - американских народных песен, что позволило более четко дифференцировать общие и специфические закономерности, присущие рассматриваемым классам мелодий.

1. Кодирование нотного текста (первичное описание)

Пусть $T = z_1 z_2 \dots z_N$ — музыкальный текст, состоящий из последовательности N нот. Элементарными количественными характеристиками мелодии являются высотная, длительностная и метрическая, из которых формируются более сложные (производные) характеристики. Следуя Зарипову [4], для представления мелодий будем использовать одну из таких производных характеристик — интервально-метрическую (или IS -характеристику). Определим ее как последовательность пар $I_k S_k$, где $k = 1, 2, \dots, N-1$, I_k — количество ступеней между высотами k -го и $(k+1)$ -го звуков мелодии, а S_k — метрическая характеристика, дающая представление об относительной силе этих звуков. Формально $I_k = W_{k+1} \ominus W_k$, где W_k — высота k -го звука, а \ominus — символ специальной операции вычитания;

$$S_k = \begin{cases} + & \text{при } p_{k+1} > p_k, \\ - & \text{при } p_{k+1} \leq p_k, \end{cases}$$

где p_k — целочисленная величина, указывающая относительную силу доли такта, соответствующей k -му звуку (меньшее значение p соответствует большей силе звука).

При перекодировке мелодии из нотной записи в IS -представление принимаем следующее соглашение: сначала указываем абсолютное значение интервала, т.е. величину $|I|$, затем знак I (" $+$ " соответствует движению звуковысотной линии вверх, " $-$ " — вниз), потом S_k —

знак стопы ("+" соответствует переходу от сильного звука к слабому, "-" — наоборот). Если $|I| = 0$, знак интервала формально не определен, но для единообразия записи ставится "+". Код $(2 + -)$, например, трактуется как скачок на 2 ступени вверх при переходе от одной ноты к другой с одновременным увеличением силы звука, а код $(0++)$ — как сохранение высоты звука при уменьшении его силы. Способ получения *IS*-представления из нотной записи проиллюстрирован на рис.1.

$k = 1$	2	3	4	5	6	p_k	1	4	2	5	3	6
$I_k = 1-$	1-	2+	2+	2-			Относительная сила восьмых нот в такте (размер 3/4)					
$p_k = 2$	3	1	3	1	3							
$S_k = +$	-	+	-	+								

Рис. 1.

Из определения *IS*-характеристики следует, что одному и тому же *IS*-фрагменту длины l может соответствовать множество различных $(l+1)$ -нотных интонаций. Они могут отличаться ритмическими фигурами, перемещениями мелодического рисунка вверх или вниз, но при сохранении интервально-метрических отношений часто воспринимаются на слух как сходные. Если в мелодии присутствует несколько таких различающихся интонаций, то при переходе к *IS*-представлению они будут образовывать идеальные повторы. Способ фиксации всевозможных повторов в тексте описан ниже.

2. Представление первичного описания в терминах повторов (вторичное описание)

Пусть

$$T = \underbrace{a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \dots a_N}_{\quad\quad\quad} \quad (1)$$

— IS -представление мелодии, где элемент a_k , $1 \leq k \leq N$, стоящий в k -й позиции текста, есть тройка $\{I_k, \text{знак } I_k, \text{знак стопы } S_k\}$. Фрагмент текста длины l будем называть l -граммой. В тексте длины N содержится ровно $(N - l + 1)$ l -грамм, выделяемых скользящей рамкой ширины l (случай $l=3$ иллюстрируется подчеркиванием в (1)). Число различных l -грамм обозначим через M_l (очевидно, что $M_l \leq N - l + 1$). Частотную характеристику l -го порядка текста T определим как совокупность

$$\Phi_l(T) = \{\varphi_{l_1}, \varphi_{l_2}, \dots, \varphi_{l_{M_l}}\}, \quad (2)$$

где элемент φ_{l_i} , $1 \leq i \leq M_l$, есть пара:

$\langle i$ -тая l -грамма, частота F ее встречаемости в тексте \rangle .

Обычно l -граммы в (2) упорядочены либо по частоте, либо лексикографически. Таким образом, частотная характеристика l -го порядка есть просто совокупность всевозможных повторов длины l , присутствующих в тексте, дополненная однократно встречающимися (уникальными) l -граммами.

ПРИМЕР. Пусть $T = 2+-2++1--1-+2++1--1-+$. Тогда

$$\Phi_2(T) = \{\langle 2++1--, F=2 \rangle; \langle 1--1-+, F=2 \rangle; \langle 2+-2++, F=1 \rangle; \langle 1-+2++, F=1 \rangle\}.$$

Полный частотный спектр текста T определим как совокупность частотных характеристик

$$\Phi(T) = \{\Phi_1(T), \Phi_2(T), \dots, \Phi_{l_{max}}(T)\}, \quad (3)$$

где l_{max} — длина максимального повтора в T (в приведенном выше примере $l_{max} = 3$ и соответствует повторению фрагмента $2++1--1-+$).

Полный частотный спектр содержит информацию о всех повторах текста. Он может быть посчитан как для одного текста, так и для совокупности текстов $\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$, где m — число текстов. В последнем случае формируется конкатенация $\bar{T} = T_1 * T_2 * \dots * T_m$, где "*" — знак

разделителя между отдельными текстами, и вычисляется $\Phi(\bar{T})$, из которого затем удаляются все l -граммы, содержащие разделитель. Для l -грамм из $\Phi(\bar{T})$ появляется еще одна возможность упорядочения — по числу текстов, в которых они представлены. Это существенно при отборе наиболее информативных признаков, характеризующих данный класс объектов (текстов).

В случае многоклассовой задачи распознавания каждый класс представлен своей обучающей подборкой текстов. Пусть для простоты число классов равно 2, \bar{T}_1 и \bar{T}_2 — обучающие выборки для классов 1 и 2 соответственно, а $\Phi_l(\bar{T}_1)$ и $\Phi_l(\bar{T}_2)$ — частотные характеристики l -го порядка для каждого из классов. Обозначим через $\Phi_l(\bar{T}_1, \bar{T}_2)$ совокупность l -грамм, общих для \bar{T}_1 и \bar{T}_2 . Для целей классификации наибольший интерес представляют l -граммы, присутствующие только в одной из выборок. Их можно интерпретировать как теоретико-множественные дополнения $D_l(\bar{T}_1)$ и соответственно $D_l(\bar{T}_2)$ к пересечению $\Phi_l(\bar{T}_1, \bar{T}_2)$ двух множеств: $\Phi_l(\bar{T}_1)$ и $\Phi_l(\bar{T}_2)$ (см. рис.2).

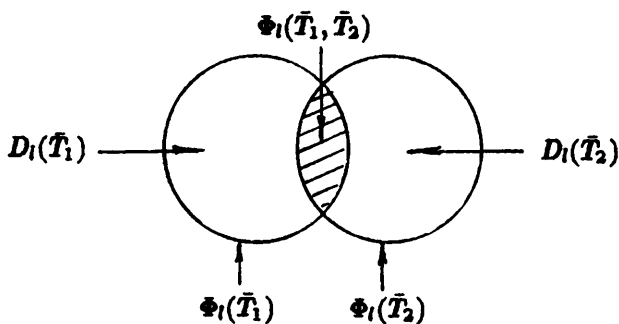


Рис. 2.

Формально

$$D_l(\bar{T}_1) = \Phi_l(\bar{T}_1) \setminus \Phi_l(\bar{T}_1, \bar{T}_2),$$

$$D_l(\bar{T}_2) = \Phi_l(\bar{T}_2) \setminus \Phi_l(\bar{T}_1, \bar{T}_2).$$

Если число классов $k > 2$, то $\Phi_l(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_k)$ определяется как совокупность l -грамм, общих хотя бы для пары

выборки из $\{\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_k\}$. Соответственно, дополнения $D_i(\bar{T}_i) = \Phi_i(\bar{T}_i) \setminus \Phi_i(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_k)$, $1 \leq i \leq k$.

Если рассматриваемые классы текстов достаточно близки, то дополнения могут оказаться маломощными. В этом случае для классификации можно привлекать некоторые l -граммы из пересечения $\Phi_i(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_k)$, обладающие свойством "контрастности". Оно подразумевает, что l -грамма должна быть максимально представлена в одной из выборок, причем в разных реализациях, и минимально — во всех оставшихся выборках.

Алгоритмы, реализующие вычисление частотного спектра, а также пересечения двух и более спектров и дополнений к ним, основаны на процедурах хеширования. Ранняя их версия, затем многократно модифицировавшаяся, описана в [1].

3. Исходный материал.

В экспериментах использовались подборки \bar{T}_p, \bar{T}_f и \bar{T}_a — соответственно русских (219 мелодий), французских (338 мелодий) и американских (140 мелодий) народных песен. Подборки составлялись из разных источников (основной вклад внесли [7-9]). Суммарная длина первой подборки составила $N_p = 9197$ символов, второй — $N_f = 18641$, третьей — $N_a = 7779$ (каждый символ — триплет, соответствующий IS-коду).

Каждая подборка содержала песни разных жанров. В некоторых сборниках такое разбиение было проведено в явном виде. О жанровом характере других сборников можно было судить лишь по названиям и содержанию песен. Требованию "многожанровости" подборок мы стремились удовлетворить, чтобы не произошло подмены задачи классификации по национальной принадлежности классификацией по жанрам, превалирующим в той или иной подборке.

Некоторая малочисленность подборки американских песен была обусловлена чисто техническими причинами — отсутствием соответствующих источников. Часть

мелодий, носящих специфический характер (детские песенки), сознательно не была включена в подборку.

Из всех подборок были исключены дублирующие друг друга мелодии. Про некоторые из них было в явном виде указано, что это мелодически совпадающие варианты представленных в этих же сборниках песен. Другие были обнаружены нами с помощью специально разработанной методики выявления заимствований.

4. Общие свойства *IS*-характеристик

В данном разделе описаны некоторые особенности *IS*-характеристик, присущие всем трем подборкам. В первую очередь они касаются алфавита *IS*-кодов и сочетаемости элементов алфавита друг с другом.

Представление об алфавите *IS*-кодов дают частотные характеристики первого порядка, посчитанные для каждой из подборок и представленные в табл.1 в виде упорядочений по частоте встречаемости. Для сопоставления одинаковых элементов в разных упорядочениях в первом приближении удобно воспользоваться рангами (порядковыми номерами элементов в упорядочениях). Более детальную картину дает сопоставление относительных частот или абсолютных (что нагляднее), но домноженных на нормирующие коэффициенты, учитывающие различие в длинах подборок. Так, при сравнении русской подборки с французской частоты в первом упорядочении следует умножить на $k_{рф} = N_{ф}/N_{р} \approx 2$ (аналогично, $k_{дф} \approx 2.4$, $k_{др} \approx 1.18$). Итак, закономерности общего характера можно суммировать следующим образом.

4.1. Реально наблюдаемая мощность алфавита *IS*-кодов составляет порядка 30 элементов. Максимально наблюдаемые скачки по высоте не превышают 9 ступеней, что естественно для возможностей человеческого голоса. Теоретически возможное число элементов алфавита при $|I| \leq 9$ равно 38, но при больших значениях $|I|$ реализуются не все элементы алфавита.

Т а б л и ц а 1

Частоты встречаемости элементов алфавита в подборке русских ($N = 9197$), французских ($N = 18641$) и американских ($N = 7779$) мелодий¹

№	Русские песни		Французские песни		Американские песни	
	a_i	f	a_i	f	a_i	f
1	2	3	4	5	6	7
1	1 - +	1699	0 + +	2787	0 + +	1467
2	1 - -	1531	1 - -	2559	1 - -	927
3	0 + +	1035	1 - +	2454	1 + -	920
4	1 + -	793	1 + -	2100	1 - +	887
5	1 + +	721	1 + +	2027	0 + -	739
6	2 - +	531	0 + -	1531	1 + +	625
7	0 + -	461	2 + +	893	2 - +	507
8	2 + +	453	2 - +	853	2 + -	318
9	2 + -	285	2 - -	703	2 - -	305
10	3 + -	282	2 + -	539	2 + +	290
11	2 - -	259	3 + -	484	3 + -	221
12	3 - -	181	3 + +	319	3 + +	92
13	4 + -	172	3 - +	287	3 - +	82
14	3 - +	144	3 - -	218	3 - -	73
15	3 + +	142	4 - -	151	4 - +	63
16	5 + -	102	4 - +	139	4 + -	46
17	4 + +	85	4 + +	139	4 - -	43
18	4 - +	74	4 + -	125	5 + -	43
19	4 - -	65	5 + -	84	5 - +	32
20	5 + +	45	5 + +	66	4 + +	30
21	7 + -	29	5 - +	42	5 + +	22
22	7 + +	28	7 - +	26	7 + -	12
23	5 - +	21	7 + +	22	5 - -	11
24	6 + -	13	6 + +	21	7 + +	10

¹ a_i — элемент алфавита, f — частота.

1	2	3	4	5	6	7
25	6++	10	5--	20	6++	3
26	7-+	10	7+-	19	7-+	3
27	6-+	8	7--	13	6-+	2
28	5--	7	6+-	11	6+-	2
29	8++	4	6-+	5	7--	2
30	7--	3	8+-	2	8+-	1
31	8+-	2	6--	1	9+-	1
32	6--	1				
33	9+-	1				

4.2. Наиболее часто используемыми элементами являются *гаммообразные* ($|I| = 1$) и *речитативные* ($|I| = 0$), соответствующие повторению звука на той же высоте. Частоты элементов со значениями $|I| > 1$, как правило, убывают с увеличением $|I|$. Исключения из этого правила наблюдаются в основном в нижней (малочастотной) половине таблицы и больше характерны для русских мелодий. Примером может служить элемент (6--), аномально низкий по частоте встречаемости во всех упорядочениях.

4.3. Среди гаммообразных ($|I| = 1$) наиболее частыми во всех упорядочениях являются (1-+) и (1--), соответствующие секундному нисходящему движению звуковысотной линии (знак минус во второй позиции кода). Поскольку звуковысотная линия обязана быть сбалансированной для мелодии в целом (сумма скачков вверх должна примерно равняться сумме скачков вниз), это означает, что при движении вверх чаще используются скачки со значением $|I| > 1$, чем при движении вниз. Наиболее характерный скачок такого рода — (3+-), значительно превышающий по частоте во всех упорядочениях остальные скачки со значением $|I| = 3$. Иными словами, нарастание высоты в среднем происходит более резко, чем снижение, что говорит об *асимметричном* характере пиков звуковысотной линии. "Перемена направления, разнообразные изгибы линий, большая или меньшая интен-

сивность движения — все это имеет важное выразительное значение и играет первостепенную роль в создании определенного характера мелодии" [10].

4.4. Влияние метрики наиболее сильно проявляется для кодов 0+ (0++ встречается примерно в 2 раза чаще, чем 0+- во всех упорядочениях), 3+ (3+- встречается в 1.5-2.5 раза чаще, чем 3++), 5- (5-+ встречается в 2-3 раза чаще, чем 5--).

4.5. Начала и концы текстов, имеющих самостоятельный статус, т.е. законченных тематически или функционально, несут повышенную информационную нагрузку во всех языковых системах. Анализ начальных и конечных IS-кодов в мелодиях подтверждает этот вывод. Алфавит элементов, употребляемых в начальной и конечной позициях мелодий, составляет 2/3 от исходного алфавита (порядка 20 символов). Частоты же такого позиционного использования символов существенно отличны от частот их использования для мелодии в целом.

К закономерностям общего характера относятся следующие. Наиболее частым начальным элементом для всех подборок является 0++ (20-30 процентов мелодий имеют речитативное начало). Другие начальные элементы указывают на преимущественно восходящее движение звуковысотной линии с преобладанием (особенно для русских мелодий) переходов от сильной доли такта к слабой ($S_1 = "+"$). Скачки по высоте со значениями $|I| > 5$ практически отсутствуют. Совершенно нетипичным для начала является нисходящее движение с усилением звука (частоты элементов 1--, 2--, 3--, 4-- малы).

Концевые элементы в подавляющей своей части соответствуют переходу от слабой доли такта к сильной ($S_N = "-"$). Это элементы типа 0+-, 1--, 1+-, 2--, 3+-, 4--, создающие особый прием завершения — метрическое завершение. Преобладает (особенно во французских мелодиях) нисходящее движение звуковысотной линии ($zn.I = "-"$). Самым частым концевым элементом во всех подборках является 1--, передающий "интонации вдоха" (27% — в русской подборке, 39% — в американской и

47% — во французской). Совершенно нетипичным для концов является восходящее движение звуковысотной линии с ослаблением силы звука (практически отсутствуют элементы 1++, 2++, 3++, 4++ и т.п.).

4.6. О сочетаемости элементов алфавита друг с другом позволяют судить частотные характеристики второго порядка: $\Phi_2(\bar{T}_P)$, $\Phi_2(\bar{T}_\Phi)$, $\Phi_2(\bar{T}_A)$. Частотность биграмм определяется двумя основными факторами: частотой составляющих биграмму однограмм и метрическими соотношениями (комбинацией знаков стопы в третьих позициях IS-кода).

Пусть $\alpha = (|I_1|, \text{зн. } I_1, S_1) (|I_2|, \text{зн. } I_2, S_2)$ — произвольная биграмма, $F(\alpha)$ — частота ее встречаемости в подборке мелодий. Тогда действие первого фактора проявляется в том, что уменьшение $|I_1|$ или $|I_2|$ приводит, как правило, к увеличению частоты при сохранении остальных компонентов IS-кодов неизменными и, наоборот, увеличение $|I_1|$ или $|I_2|$ обычно связано с понижением частоты. Эта закономерность не распространяется на переход от $|I| = 0$ к $|I| = 1$ из-за высокой частотности элементов с $|I| = 1$. Табл.2 демонстрирует влияние первого фактора на частоты соответствующих биграмм.

В данном примере наблюдаются лишь 2 отклонения от сформулированной выше закономерности (1 - +4 + - в русской подборке и 1 - +3 + 1 - в американской). В первом случае отклонение носит ярко выраженный характер. Сопоставление частоты биграммы 1 - +4 + - во всех трех подборках говорит о том, что данную биграмму можно рассматривать в качестве достаточно информативного признака при решении задачи классификации по национальной принадлежности.

Второй фактор сводится к тому, что при прочих равных условиях более высокую частоту имеют обычно биграммы с чередованием знаков стопы. Это соответствует четному метру, т.е. размеру 2/4 и 4/4. В нашей подборке число песен, написанных на двудольный размер,

Влияние изменения $|I|$ на частоту биграмм

Русские песни		Французские песни		Американские песни	
α	$F(\alpha)$	α	$F(\alpha)$	α	$F(\alpha)$
1 - + 1 + -	151	1 - + 1 + -	414	1 - + 1 + -	154
1 - + 2 + -	65	1 - + 2 + -	53	1 - + 2 + -	20
1 - + 3 + -	31	1 - + 3 + -	42	1 - + 3 + -	30
1 - + 4 + -	64	1 - + 4 + -	14	1 - + 4 + -	5
1 - + 1 + -	151	1 - + 1 + -	414	1 - + 1 + -	154
2 - + 1 + -	111	2 - + 1 + -	195	2 - + 1 + -	77
3 - + 1 + -	15	3 - + 1 + -	23	3 - + 1 + -	10
4 - + 1 + -	9	4 - + 1 + -	13	4 - + 1 + -	5

составляет 60.8% среди русских, 49.2% — французских и 72.9% — американских. Затем следуют биграммы с совпадающими положительными знаками стопы, соответствующие трехдольному метру. Количество таких мелодий составило 19.6% в русских, 39.4% во французских и 27.1% в американских песнях. Самые низкочастотные — биграммы с отрицательными знаками стопы. Иными словами, при $S_1 \neq S_2$, как правило, имеет место: $F((|I_1|, \text{зн. } I_1, S_1) (|I_2|, \text{зн. } I_2, S_2)) > F((|I_1|, \text{зн. } I_1, +) (|I_2|, \text{зн. } I_2, +)) > F((|I_1|, \text{зн. } I_1, -) (|I_2|, \text{зн. } I_2, -))$, т.е. наиболее характерными ("бытующими") являются комбинации с чередованием силы звука, менее характерными — с двойным понижением силы звука и относительно редкими — с двумя сильными стопами подряд, (что может случиться, например, при следовании одного за другим тактов, содержащих по одной сильной доле). Применительно к речи комбинация $S_1 S_2 = (- -)$ соответствовала бы двум восклицаниям подряд. В нотном варианте это может вы-

глядеть следующим образом:



Второй фактор работает гораздо более жестко, чем первый, особенно при малых значениях $|I|$. Из табл.3, в частности, видно, что среди 30 наиболее частых биграмм (а таковыми в соответствии с первым фактором являются биграммы с малыми значениями $|I|$) не встречается ни одной со значением $S_1 S_2 = (--)$ во всех трех упорядочениях и имеются лишь 4 со значением $S_1 S_2 = (++)$ в русской подборке, столько же во французской и две в американской. Самой же высокочастотной биграммой со значением $S_1 S_2 = (--)$ является в русской подборке $1 - -1 - -$ ($F = 44$, ранг $r = 44$), во французской — она же ($F = 50$, $r = 72$), в американской — $0 + -0 + -$ ($F = 38$, $r = 50$).

4.7. Кроме указанных основных факторов существует ряд дополнительных. Так, например, за редким исключением величина $|I_1| + |I_2| \leq 8$. Наблюдается также стремление минимизировать число больших последовательных скачков звуковысотной линии в одном направлении ($F(3 - -3 - +) = 2$ (для \bar{T}_P), 1 (для \bar{T}_Φ) и 0 (для \bar{T}_A), но $F(3 - -3 + +) = 14$ (для \bar{T}_P), 37 (для \bar{T}_Φ) и 15 (для \bar{T}_A)). При движении звуковысотной линии вниз больший по абсолютной величине скачок обычно стоит на втором месте ($F(1 - -3 - +) = 37$ (для \bar{T}_P), 71 (для \bar{T}_Φ) и 16 (для \bar{T}_A), но $F(3 - +1 - -) = 4$ (для \bar{T}_P), 6 (для \bar{T}_Φ) и 0 (для \bar{T}_A)). При движении звуковысотной линии вверх картина часто (но не всегда) бывает противоположной ($F(3 + -1 + +) = 25$ (для \bar{T}_P), 103 (для \bar{T}_Φ) и 31 (для \bar{T}_A), но $F(1 + +3 + -) = 14$ (для \bar{T}_P), 1 (для \bar{T}_Φ) и 0 (для \bar{T}_A)).

Перечисленные факторы определяют лишь общие тенденции встречаемости биграмм. В каждой из подборок имеется множество отклонений от нормы. Нас будут интересовать отклонения, некоррелированные по разным подборкам. Именно они могут отражать национальную

Т а б л и ц а 3

Наиболее частые биграммы в мелодиях русских,
французских и американских народных песен

№	Русские песни		Французские песни		Американские песни	
	бигр.	част.	бигр.	част.	бигр.	част.
1	2	3	4	5	6	7
1	1 - +1 - -	798	1 - +1 - -	1094	0 + +0 + -	406
2	1 - -1 - +	509	1 + +1 + -	928	1 - +1 - -	347
3	1 + +1 + -	298	1 - -1 - +	794	1 + +1 + -	340
4	1 - -0 + +	244	0 + +0 + -	786	0 + -0 + +	260
5	1 - +1 - +	243	1 + -0 + +	530	1 + -0 + +	256
6	0 + +1 - -	238	0 + -0 + +	481	1 - -1 - +	232
7	0 + +0 + -	232	0 + +1 - -	468	0 + +1 - -	213
8	1 + -1 - +	182	1 + -1 + +	442	0 + +1 + -	206
9	1 - -1 + +	166	1 - -0 + +	431	1 + -1 - +	201
10	1 + -0 + +	160	1 - +1 + -	414	0 + +0 + +	187
11	1 - +1 + -	151	1 + +1 - -	391	1 - -0 + +	162
12	1 - -2 - +	150	1 + -1 - +	381	1 - -2 - +	158
13	2 + +1 - -	147	0 + -1 - +	346	1 - +1 + -	154
14	0 + -1 - +	144	0 + +0 + +	343	0 + -1 - +	140
15	2 + -1 - +	139	0 + +1 + -	338	1 + -1 + +	133
16	0 + +1 + -	120	1 - -1 + +	286	2 + -0 + +	115
17	1 + -2 - +	114	2 + +1 - -	263	3 + -0 + +	109
18	1 + -1 + +	111	1 + -2 - +	261	1 + +1 - -	108
19	1 - -2 + +	111	1 - +1 - +	261	2 - +1 - -	104
20	2 - +1 + -	111	1 + +2 - -	231	0 + +2 + -	101
21	1 + +2 - -	104	1 - +1 + +	230	1 + -2 - +	99
22	0 + -0 + +	103	0 + -1 + +	213	0 + +2 - -	89
23	1 + +1 - -	102	2 - +1 + -	195	1 - -1 + +	83
24	2 - +1 - -	98	1 - -2 - +	187	2 - +1 + -	77

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
25	1 - +1 + +	80	1 - -2 + +	185	2 - -0 + +	76
26	1 + +1 - +	78	3 + -0 + +	171	1 - +1 - +	73
27	2 - +3 + -	73	1 + +1 + +	156	2 - +2 + -	67
28	3 + -1 - +	72	2 + -0 + +	152	0 + +3 + -	65
29	0 + +0 + +	66	0 + -2 + +	148	0 + -1 + +	61
30	1 - +2 + -	65	2 - -0 + +	140	0 + -2 - +	60

специфику. Например, биграмма 2 - +3 + - аномально часто встречается в русских мелодиях, что проявляется как нарушение первого фактора ($F(2 - +3 + -) = 73 > F(2 - +2 + -) = 25$). В то же время во французских и американских мелодиях эта биграмма встречается в пределах нормы и фактор 1 не нарушен ($F(2 - +3 + -) = 46 < F(2 - +2 + -) = 83$ для \bar{T}_B и $F(2 - +3 + -) = 18 < F(2 - +2 + -) = 67$ для \bar{T}_A). Указанный дисбаланс является основанием для включения биграммы 2 - +3 + - в число контрастных.

5. Национально-специфические особенности мелодий.

В данном разделе описаны интегральные закономерности, несущие информацию о национальной принадлежности. Термин "интегральные" означает, что данные закономерности проявляют себя на подборке в целом, но для конкретной мелодии их проявление может быть не столь явным.

5.1. Элемент *речитативности* проявлен в русских песнях значительно слабее, чем во французских и особенно в американских. Суммарная относительная частота встречаемости "речитативных" кодов 0 + + и 0 + - составляет 0.16 для русской подборки, 0.23 — для французской и 0.28 — для американской. Эти различия следует считать значимыми в том смысле, что они существенно превышают разброс, допустимый в силу случайных факторов. О

величине последнего можно судить по результатам экспериментов с другими подборками. Так, для подборки песен советских композиторов (216 мелодий, $N = 16905$) "коэффициент речитативности" составляет 0.144, для сборника "День победы" (песни о войне, 58 мелодий, $N = 5126$) имеем 0.169, для уменьшенных вдвое случайным образом подборок русских и французских народных песен имеем соответственно 0.147 и 0.22. Нетрудно видеть, что диапазон 0.14-0.17 характерен именно для русских песен, а колебания внутри него определяются жанровыми и тематическими различиями, объемом выборки и рядом других факторов.

Речитативные элементы в мелодии часто кластеризованы, т.е. образуют цепочки из двух и более подряд следующих кодов. Количественной мерой кластеризованности речитативных элементов в одной мелодии может служить длина такой максимальной цепочки. Подборку в целом характеризует средняя длина максимальной речитативной цепочки. По этому показателю также наблюдается значимое различие: 1.74 — для русской подборки, 2.54 — для французской и 3.33 — для американской.

5.2. Эффект асимметрии звуковысотной линии (см. п. 4.3) проявлен в русских песнях в большей степени, чем во французских и американских. Русские мелодии в среднем характеризуются более плавным спадом звуковысотной линии и более крутым подъемом.

Формальными характеристиками крутизны нарастания и спада звуковысотной линии могут служить средние (по каждой подборке) значения величины интервала при восходящем (k_B) и нисходящем (k_H) движении соответственно. Пусть N — длина подборки, $n^+(I)$ — число IS -кодов подборки со значениями $|I|++$ и $|I|+-$, соответственно $n^-|I|$ — число IS -кодов со значениями $|I|-+$ и $|I|--$, тогда

$$k_B = \sum_{I \geq 1} |I| \cdot n^+(I) / \sum_{I \geq 1} n^+(I),$$

$$k_H = \sum_{I \leq -1} |I| \cdot n^-(I) / \sum_{I \leq -1} n^-(I).$$

Коэффициент асимметрии может быть определен в виде отношения $k_{ас} = k_B/k_H$. Более крутому в среднем нарастанию звуковысотной линии по сравнению с убыванием соответствуют значения $k_{ас} > 1$, а более крутому убыванию — значения $k_{ас} < 1$. Для наших подборок (русской — Р, французской — Ф и американской — А) имеем: $k_{ас}^P = 2.09/1.46 = 1.43$; $k_{ас}^Ф = 1.70/1.53 = 1.11$; $k_{ас}^A = 1.72/1.56 = 1.10$. Таким образом, асимметрией пиков звуковысотной линии характеризуются все три подборки, но значимыми являются лишь различия между русской подборкой и двумя оставшимися.

Существенно более крутое в среднем нарастание звуковысотной линии в русских мелодиях объясняется повышенной частотой использования больших скачков ($I \geq 4$). Относительная доля таких скачков в русской подборке в среднем в 2–3 раза выше, чем во французской и американской, о чем свидетельствует приводимая ниже подвыборка абсолютных частот из табл. 1 (для сравнения относительных долей следует учесть различие в длинах подборок):

IS-код	\bar{T}_P	$\bar{T}_Ф$	\bar{T}_A
4++	85	139	30
4+-	172	125	46
5++	45	66	22
5+-	102	84	43
6++	10	21	3
6+-	13	11	2
7++	28	22	10
7+-	29	19	12

Избыток неординарных мелодических ходов придает русским мелодиям более яркую эмоциональную окраску.

Более плавный характер спада звуковысотной линии в русских мелодиях объясняется повышенной частотой

использования элементов $1 - +$ и $1 - -$, обеспечивающих (преимущественно) *поступенное заполнение* интервалов при нисходящем движении. Относительная доля таких кодов в русской подборке составляет 0.35, во французской — 0.27, в американской — 0.23.

5.3. Выше говорилось о том, что речитативные ($|I| = 0$) и гаммообразные ($|I| = 1$) элементы часто обнаруживают кластеризуемость по длине мелодии. О неслучайности такой кластеризации можно судить с помощью простейших статистических критериев, например, серийных [11]. Следовательно, наличие в мелодии однородных (в смысле значения $|I|$) цепочек символов можно трактовать как специальный прием, служащий достижению определенных целей (выразительных, композиционных и т.п.). Исходя из этого, представляет интерес проанализировать насыщенность наших подборок однородными цепочками со значениями $|I| = 2$ и выше. По данному показателю русские, французские и американские мелодии обнаруживают значимые различия.

Для иллюстрации ограничимся цепочками длины 4 со значениями интервалов $|I| = 2$ и частотой $F \geq 2$. Таких разновидностей оказалось во французской подборке 19 (с суммарной частотой 68), в американской — 9 (с суммарной частотой 21), а в русской — всего одна с частотой 2. Наиболее часто во всех подборках встречались цепочки, которые условно (исходя из характера движения, точнее противодвижения, звуковысотной линии) можно назвать *пильобразными* (каждая из них содержит по два периода):

Цепочка	$F(\bar{T}_\Phi)$	$F(\bar{T}_A)$	$F(\bar{T}_P)$
$(2 + + 2 - -)(2 + + 2 - -)$	5	3	0
$(2 + - 2 - +)(2 + - 2 - +)$	8	4	0
$(2 - - 2 + +)(2 - - 2 + +)$	11	2	0
$(2 - + 2 + -)(2 - + 2 + -)$	2	2	2

Интересно отметить, что однородные цепочки длины 4 со значением $|I| = 3$ и частотой $F \geq 2$ были обнаружены только во французской подборке (4 разновидности) и все

они оказались пилообразными:

$$((3 + +3 - -)(3 + +3 - -) - F = 3,$$

$$(3 + -3 - +)(3 + -3 - +) - F = 2,$$

$$(3 - +3 + -)(3 - +3 + -) - F = 3,$$

$$(3 - -3 + +)(3 - -3 + +) - F = 6).$$

Отметим также, что "пилообразные" цепочки могут быть построены и из гаммообразных элементов ($|I| = 1$) и здесь вновь превалирует французская подборка:

Цепочка	$F(\bar{T}_\Phi)$	$F(\bar{T}_A)$	$F(\bar{T}_P)$
$(1 + +1 - -)(1 + +1 - -)$	13	0	5
$(1 + -1 - +)(1 + -1 - +)$	14	9	3
$(1 - -1 + +)(1 - -1 + +)$	6	0	0
$(1 - +1 + -)(1 - +1 + -)$	16	4	0

Таким образом, пилообразный характер движения звуковысотной линии нетипичен для русских мелодий, допустим для американских и обычен для французских.

5.4. Начальные и конечные элементы мелодий также демонстрируют специфические различия на уровне трех рассматриваемых подборок.

Элемент $0 + -$ (повтор звука) не характерен для начал русских мелодий (4 случая из 219), но довольно часто встречается в начале французских (55 случаев из 338) и американских (17 случаев из 140). Аналогично, элемент $3 + -$ (скачок на кварту) довольно редко встречается в начале русских мелодий (12 случаев из 219), чаще в начале американских (18 случаев из 140) и еще чаще в начале французских (58 случаев из 338). Это неудивительно, т.к. многие мелодии начинаются с затакта (поэтому знак "-") и призывно, что выражает интервал "кварту" ($I = 3+$).

Как уже упоминалось выше, нисходящие движения звуковысотной линии в целом не слишком характерны

для начал мелодий (особенно французских). Тем не менее нисходящие мелодические ходы с ослаблением силы звука — не редкость для начал русских мелодий и по этому показателю они значительно опережают французские и американские мелодии:

IS-код:	Частота встречаемости в начале мелодии		
	русские	французские	американские
	(219 мел.)	(338 мел.)	(140 мел.)
1 — +	28	19	11
2 — +	18	6	4
3 — +	5	3	2
4 — +	4	0	1
Суммарная доля:	25%	8%	13%

Элементы 3 — — (нисходящая кварта) и 4 + — (восходящая квинта) в качестве конечных встречаются (за единственным исключением) лишь в русской подборке (соответственно 15 и 17 случаев). Исключение составляет 4 + — (одно вхождение в американскую подборку).

Аналогично, элемент 0 + + практически не встречается в конце французских мелодий (всего 2 случая), но в русских и американских подборках он составляет 7–8% всех окончаний.

5.5. Важной характеристикой каждой мелодии является длина максимального повтора l_{max} (на уровне IS-представления). Большое значение l_{max} может свидетельствовать как о слабой варьируемости отдельных структурных элементов мелодии, так и о простоте ее композиционного строения (мелодия часто оказывается построенной по схеме XX , где X — повторяющийся блок размера l_{max}).

В качестве показателя насыщенности подборок длинными повторами мы выбрали отношение числа мелодий, содержащих повторы с длиной не менее 15 элементов, к общему числу мелодий в подборке. Доля таких длинно-

повторных мелодий составила для русской подборки 11%, для французской — 17.5%, для американской — 20%. Указанное различие можно трактовать в том смысле, что в среднем русские мелодии менее статичны, чем французские и американские, как в композиционном отношении, так и в отношении варьированности.

5.6. Ритм вокальной мелодии гибко отражает свободную ритмику живой речи, поэтому в мелодиях нередко наблюдается чередование двудольного и трехдольного движений, что соответствует переменному метру. Метрическая свобода особенно характерна для русских народных песен (в нашей подборке такие мелодии составляют около 20%), менее характерна для французских — 11.4% и полностью отсутствует в американских.

6. Национально-специфические интонационные обороты

В данном разделе представлены образцы цепочек, наиболее характерных для каждой подборки. В первую очередь это цепочки, формирующие дополнения $D_1(\bar{T}_P)$, $D_1(\bar{T}_\Phi)$ и $D_1(\bar{T}_A)$ (см. рис.2 из п. 2), т.е. уникальные l -граммы, представленные только в одной из подборок (\bar{T}_P , \bar{T}_Φ или \bar{T}_A). Во вторую очередь — это цепочки из пересечения $\Phi_1(\bar{T}_P, \bar{T}_\Phi, \bar{T}_A)$, обладающие свойством контрастности, т.е. l -граммы, представленные преимущественно в одной из подборок, но в небольшом количестве встречающиеся и в других (соответствующие множества будем обозначать $K_1(\bar{T}_P)$, $K_1(\bar{T}_\Phi)$ и $K_1(\bar{T}_A)$).

Цепочки первого и второго типа тесно связаны друг с другом. Можно сказать, что цепочки первого типа являются максимально контрастными, однако частота их существенно ниже и представлены они в существенно меньшем числе мелодий, чем цепочки второго типа. С увеличением объема подборок цепочки первого типа могут переходить в цепочки второго типа и, наоборот, с увеличением значения l (но при фиксированных подборках) цепочки второго типа могут стать цепочками первого типа

(т.е. при расширении цепочки второго типа могут возникнуть продолжения, характерные лишь для одной из подборок).

При формировании дополнений мы ограничились значениями $l = 3, 4$. Дополнения первого и второго порядка почти пустые (пересекаемость подборок по однограммам и биграммам близка к 100%), тогда как дополнения 5-го и более высоких порядков увеличивают свои объемы, но частоты входящих в них l -грамм падают (подавляющая часть l -грамм имеет частоту 1). Образцы цепочек первого типа (из $D_1(\bar{T}_P)$, $D_1(\bar{T}_\Phi)$ и $D_1(\bar{T}_A)$) представлены в табл. 4, а цепочек второго типа (из $K_1(\bar{T}_P)$, $K_1(\bar{T}_\Phi)$ и $K_1(\bar{T}_A)$) — в табл. 5. В дополнения включались лишь цепочки с частотой встречаемости в соответствующей подборке, не меньшей 2. Для отбора контрастных цепочек использовалось правило: абсолютная суммарная частота встречаемости цепочки в \bar{T}_P , \bar{T}_Φ и \bar{T}_A должна быть ≥ 10 , относительная частота встречаемости цепочки в одной из подборок должна быть больше суммы относительных частот ее встречаемости в двух других подборках (например, $f_P = F_P/N_P > f_\Phi + f_A$ или $f_A = F_A/N_A > f_\Phi + f_P$).

С учетом указанных ограничений список 3-грамм, присутствующих только в американской подборке, содержал 93 цепочки, которые были представлены в 78 мелодиях подборки (из 140). Аналогичные показатели для французской подборки — 311 цепочек, 256 мелодий (из 338), для русской — 160 цепочек, 153 мелодии (из 219). Иными словами, отобранные 3-граммы однозначно идентифицируют 56% всех мелодий в американской подборке, 70% — в русской и 76% — во французской. Некоторые из отобранных 3-грамм являются избыточными (дублирующими другие). Минимальные наборы 3-грамм, обеспечивающих указанную выше покрываемость подборок, представлены 44 (для \bar{T}_A), 106 (для \bar{T}_Φ) и 84 (для \bar{T}_P) цепочками соответственно.

Множества $D_4(\bar{T}_P)$, $D_4(\bar{T}_\Phi)$ и $D_4(\bar{T}_A)$ более объемны. Минимальные (в указанном выше смысле) наборы содержат соответственно 71 (для \bar{T}_A), 141 (для \bar{T}_Φ) и 99 (для \bar{T}_P)

Т а б л и ц а 4

Образцы наиболее частых l -грамм ($l = 3, 4$), встречающихся только в одной из подборок
(F — частота l -граммы в подборке, F_i — число мелодий, в которых она присутствует)

№	Русская подборка			Французская подборка			Американская подборка		
	l -грамма	F	F_i	l -грамма	F	F_i	l -грамма	F	F_i
1	7+ -1 - +1 - +	8	6	0+ -1 + +2 - -	21	15	0+ -2 - -1 - +	7	6
2	1 - -4 + +2 - +	7	5	1+ +1 - +1 - +	13	6	4 - +0 + +3 + -	7	4
3	1 - +4 + -1 + +	6	5	0+ +2 + +0 + -	12	7	0+ -0 + -0 + -	6	4
4	5+ -1 - +0 + -	6	4	1+ +1 + -4 - -	11	6	1+ -2 + -2 - +	5	4
5	4+ -1 - +3 - -	5	4	1+ -1 + +0 + -	11	9	2+ -0 + +2 + -	5	3
6	0+ +4 + -2 + +	5	4	0+ -3 - +1 + +	11	7	2 - +2 + -1 + -	5	3
7	3 - -1 - +1 - +	5	4	1+ +2 - +1 + -	10	6	1 - +2 - -1 - -	4	4
8	1 - +3 - -1 - +	4	4	2+ +0 + +0 + +	10	7	0+ -3 - +0 + +	4	3
9	1 - +2 + -4 - +	4	4	4 - -2 + +2 + -	9	6	1 - +0 + +2 + -	4	3
10	4+ -2 - +1 - +	4	4	3+ -3 - +0 + -	8	8	1+ +1 + -5 - -	3	3
11	2+ +1 - -1 - +4 + -	9	8	1+ +1 - -1 - +1 + +	34	7	2 - +2 - -1 + +1 + -	11	4
12	1 - +1 - -1 - +3 - -	8	6	0+ +0 + -1 + +2 - -	15	10	0+ -0 + -0 + +0 + -	8	6
13	3 - +2 + -1 - +1 - +	8	6	2+ +0 + -1 - +1 - +	15	9	5 - +3 + -0 + +1 + -	6	4
14	2 - +3 + -2 + +1 - -	6	6	4+ +0 + -1 - +1 + -	15	7	0+ -0 + +2 - -1 - +	6	5
15	1 - +1 - -2 - +5 + -	6	4	0+ +1 - -0 + +2 + -	11	9	1 - +2 - -0 + -1 - +	6	3
16	2 - +3 + -1 - +1 + +	5	4	4+ +0 + -0 + +0 + -	11	8	1+ -1 - +2 - +1 - -	6	3
17	1 - +4 + -1 + +1 - +	5	4	2+ +4 - -2 + +1 - -	11	5	1+ -0 + +0 + -2 - -	5	4
18	3+ -0 + +1 - +1 - -	5	4	1 - +1 - +1 + +1 + -	10	8	0+ +0 + -2 - -1 - +	5	5
19	3 - -1 - +1 - +1 - -	5	4	0+ +1 + -1 + +1 - +	9	7	3+ -0 + +0 + -0 + -	4	4
20	5+ -1 - +1 + +2 - -	4	4	3 - +3 + -2 + +2 + -	7	6	3 - +2 + -2 - +1 - -	4	3

Таблица 5

Образцы наиболее частых "контрастных" l -грамм ($l = 2, 3, 4$), встречающихся преимущественно в одной из подборок (F_P, F_Φ, F_A — их частоты в T_P, T_Φ, T_A)

№	Русская подборка			Французская подборка			Американская подборка					
	l -грамма	F_P	F_Φ	F_A	l -грамма	F_P	F_Φ	F_A	l -грамма	F_P	F_Φ	F_A
1	5+ -1 - +	58	12	5	3+ +3 - -	2	40	0	0+ -0 + -	3	9	38
2	1 - +4 + -	64	14	5	4+ +0 + -	7	82	11	2 - +0 + +	28	38	46
3	1 - +3 - -	63	17	5	2+ -3 + +	6	35	4	5 - +3 + -	0	4	15
4	4+ -1 - +	53	23	11	2+ +2 - -	15	68	11	1+ -1 + -	11	23	28
5	2+ -1 - +1 - +	50	18	5	1 - +1 + +1 - -	5	55	3	1+ +1 - -2 - +	7	35	43
6	0+ +5 + -1 - +	20	1	0	1 - +1 - +1 + +	2	20	0	0+ +0 + -0 + -	1	6	22
7	1 - -1 - +4 + -	35	4	2	0+ -1 + +0 + -	1	22	1	1 - -2 - +1 - -	13	14	33
8	2 - +3 - +1 - +	22	7	5	0+ -2 + +0 + -	1	28	5	1 - -2 - +2 - -	6	12	24
9	2+ +2 + -1 - +	28	16	2	0+ -3 - +3 + -	0	24	5	0+ +2 + -0 + +	7	39	43
10	1 - -2 - +3 + -	28	14	5	2+ +2 + -1 + +	4	25	3	0+ +2 - -1 - +	1	7	18
11	4 - +1 - +1 - +	14	1	2	1 - -3 + +0 + -	2	22	5	0+ -2 - +2 + -	5	8	15
12	3 - +2 + -1 - +	15	6	1	4+ +0 + -1 - +	4	30	0	1+ +1 + -1 + -	1	3	13
13	1+ -1 - +1 - +1 - -	35	14	14	1+ +1 + -1 - +1 - -	13	92	19	0+ +1 + -0 + +0 + -	4	17	18
14	2+ -1 - +1 - +1 - -	33	6	2	1+ -1 + +1 + -0 + +	7	60	14	0+ +0 + +1 + -0 + +	3	13	16
15	1 - +1 - +1 - -1 - +	27	13	3	1+ -1 + +1 - -1 - +	7	52	7	1+ -0 + +0 + +1 - -	5	10	14
16	1 - -1 + +1 - +1 - -	23	21	1	0+ +0 + +0 + -1 + +	1	34	8	0+ +1 + -0 + +0 + +	2	7	19
17	1 - +1 - -1 - +2 + -	25	7	3	0+ +2 + -1 - +1 - -	4	28	0	1+ +1 + -1 - +1 + -	3	8	15
18	1 - +1 - -1 - +4 + -	20	3	1	0+ +0 + -3 - +3 + -	0	22	1	0+ +0 + -0 + +2 - -	1	6	13
19	2+ +2 + -1 - +1 - +	19	5	0	3+ -1 + +1 + -1 + +	0	23	3	1+ +1 - -2 - +1 - -	1	3	16
20	1 - +1 - +1 - -3 + +	16	5	0	2+ +2 + -1 + +1 - -	2	19	1	0+ +2 - -0 + +2 + -	1	4	12

цепочек. Покрываемость ими обучающих подборок составляет 84% (\bar{T}_A), 97% (\bar{T}_Φ) и 86% (\bar{T}_P), т.е. с достаточно высокой вероятностью можно ожидать обнаружения одной из таких дифференцирующих цепочек во вновь пришедшей мелодии.

Относительно контрастных l -грамм следует заметить, что максимальное их число приходится на значение $l = 3$ (от 103, представленных в $K_l(\bar{T}_P)$, до 139 — в $K_l(\bar{T}_A)$), а степень покрываемости ими "своих" подборок составляет порядка 95%. При $l = 4$ число контрастных l -грамм несколько снижается (труднее удовлетворить условию $F_A(\alpha) + F_P(\alpha) + F_\Phi(\alpha) \geq 10$, где α — искомая l -грамма), покрываемость ими подборок также слегка падает. При идентификации мелодий по национальной принадлежности контрастные l -граммы следует привлекать во вторую очередь (в случае отсутствия в мелодии цепочек, идентифицирующих ее однозначно, т.е. цепочек из какого-либо дополнения).

Качественная характеристика l -грамм, представленных в табл.4,5, показывает, что среди l -грамм, характерных для американской подборки, ярко проглядывают речитативные мотивы (см. № 7,10 из табл.4 и 1,6 из табл.5), а также редкие метрические комбинации "—" (см. № 1,3,4,6,7,10 из табл.4 и № 1,4,6,12 из табл.5). Для французской подборки характерны пилообразныеходы в звуковысотной линии (см. № 10,18 из табл.4 и № 1,4,9,13,15 из табл.4) и наличие редких метрических комбинаций "+++" (см. № 2,8,18 из табл.4 и № 6 из табл.5). Цепочки, характерные для русской подборки, часто содержат скачки вверх на 4,5,7 ступеней (см. № 1-6,11,15 из табл.4 и № 1,2,4,6,11,18 из табл.5). Таким образом, описанные выше интегральные различия между тремя классами мелодий находят свое непосредственное отражение и во множестве информативных l -грамм.

Заметим, что 4 типа наборов информативных l -грамм, получаемых нами (D_3 , D_4 , K_3 , K_4), достаточно независимы. Независимость D_3 и D_4 от K_3 и K_4 следует из их определения и существенного различия в порогах ($F \geq 2$

в первом случае и $F \geq 10$ — во втором). В то же время наборы D_3 и D_4 (аналогично K_3 и K_4) частично зависимы при одинаковых аргументах в том смысле, что иногда конкретная 3-грамма, допустим из K_3 , при расширении ее влево или вправо на 1 символ сохраняет свойство контрастности, т.е. попадает в D_4 (см., например, № 9 и 18, французская подборка, табл.4, или № 4 и 12, американская подборка, там же). Однако существенную часть 4-граммных наборов составляют не подобного рода "потомственные" цепочки, а такие, которые при $l = 3$ еще не удовлетворяли требуемым условиям, т.е. не были уникальными или контрастными, а при $l = 4$ стали таковыми (см., например, № 11,12 из табл. 4 или № 13 из табл. 5). Этим, в частности, объясняется тот факт, что максимальные значения частот цепочек из D_4 выше, чем из D_3 (см. № 11 и 1 из табл. 4). В силу указанных обстоятельств множества D_3 и D_4 (аналогично, K_3 и K_4) также можно считать относительно независимыми.

Вместе с тем, цепочки, формирующие каждый конкретный набор, часто оказываются взаимосвязанными. Это обычно проявляется в наличии "сдвиговых" вариантов (см. № 14 и 15, русская подборка, табл. 5, или № 13,14, американская подборка, там же), а также похожих в мелодическом отношении цепочек (см. № 7,8, \bar{T}_Φ , табл. 5; № 7,10, \bar{T}_P , там же; № 14,16, \bar{T}_P , табл.4). Смысл терминов удобно продемонстрировать путем выравнивания пар взаимосвязанных цепочек:

	Табл. 5, \bar{T}_P	Табл. 5, \bar{T}_Φ
№ 14	2 + -1 - +1 - +1 - -	№ 7 0 + -1 + +0 + -
№ 15	1 - +1 - +1 - -1 - +	№ 8 0 + -2 + +0 + -
	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> \diagup \diagdown \diagup \diagdown \diagup \diagdown </div> <div style="text-align: center;"> \diagup \diagdown \diagup \diagdown \diagup \diagdown </div> </div> <p>сдвиговые варианты</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> \mid \mid \mid \mid </div> <div style="text-align: center;"> \mid \mid \mid \mid </div> </div> <p>мелодические сходные варианты</p>

Сформированные наборы специфичных для каждой подборки l -грамм могут быть использованы не только для классификации неизвестных мелодий, но и для выявления наиболее типичных и нетипичных представите-

"Эй, ухнем!"

"Весной" ("Au printemps")

"О, Сюзана!" ("Oh, Susanna!")

Рис.3. Примеры наиболее типичных мелодий из русской, французской и американской подборок (подчеркнуты характерные фрагменты, входящие в D₃, D₄)

лей в каждом классе. Если, например, рассматривается множество $D_1(\bar{T}_P)$, то естественно назвать "типично русской" мелодию из \bar{T}_P с максимальным числом цепочек из $D_1(\bar{T}_P)$. Аналогично, мелодию из \bar{T}_P , содержащую максимальное число цепочек из $K_1(\bar{T}_P)$, также можно отнести к разряду "типично русских" (возможно, с некоторыми оговорками), тогда как мелодию из \bar{T}_Φ с максимальным числом элементов из $K_1(\bar{T}_P)$ можно было бы назвать "самой русской среди французских", а мелодию из \bar{T}_P с максимальным числом элементов из $K_1(\bar{T}_\Phi)$ — "самой французской среди русских".

Поскольку наборы D_3 , D_4 , K_3 , K_4 , как уже отмечалось, не слишком коррелированы, мы имеем несколько относительно независимых возможностей для определения "типичного представителя". "Наиболее типичным представителем" следует считать такого, который проходит по максимальному числу критериев и удовлетворяет ряду дополнительных условий (он не должен набирать много "голосов" на "чужих" образах, если классификация идет по цепочкам из K_1 ; желательно, чтобы в нем было больше разных цепочек из "своего" набора, а не одна, многократно повторяющаяся; мелодия не должна быть слишком длинной, так как длина неявно влияет на возможное число информативных цепочек в мелодии и т.д.).

В соответствии с вышеизложенными соображениями были отобраны наиболее типичные представители для каждой подборки (см. для иллюстрации рис. 3). Такими оказались: для русской подборки — "Эй, ухнем" (прошла по всем четырем критериям — D_3 , D_4 , K_3 , K_4), "То не ветер ветку клонит" (прошла по D_3 и K_4), "Окрасился месяц багрянцем" (K_3 , K_4), "Зачем тебя я, милый мой, узнала" (K_3 , K_4 , но есть цепочки из "чужих" классов); для французской подборки — "На берегах Луары" (D_4 , K_4), "Весной" (D_3 , D_4), "Споем, чтобы скоротать время" (D_4 , K_3), "Бургундия" (K_3 , K_4), "Маржолен" (D_3 , K_4); для американской подборки: "О, Сюзанна!" (D_4 , K_4), "Внизу у реки" (K_3 , K_4), "Кругом зеленая трава" (K_3 , K_4), "Чем больше мы вместе" (D_4).

З а к л ю ч е н и е

Рассматривается нетрадиционная задача дифференциации песенных мелодий по национальной принадлежности. Разработанная для ее решения система количественных характеристик, апеллирующая к понятию *повтора*, и методика отбора информативных признаков носят общезыковый характер. Выбор в качестве полигона песенных мелодий объясняется тем, что в них категории повторности и вариативности проявлены наиболее ярко.

Показано, что русские мелодии в среднем *менее речитативны*, чем французские и американские. Эффект *асимметрии* звуковысотной линии выражен в них более ярко, что проявляется, в частности, в преимущественно скачкообразном характере восходящего движения и гаммообразном — нисходящего. Абсолютно симметричные пилообразные мелодические ходы нетипичны для русских мелодий. Повторяющиеся элементы внутренней структуры в русских мелодиях *более вариативны*, чем во французских и американских. *Переменный метр* достаточно типичен для русских мелодий, менее характерен для французских и практически отсутствует в американских мелодиях. Значимые различия между рассматриваемыми подборками наблюдаются в начальной и конечной фазах мелодии. Перечисленные особенности делают русские мелодии *менее однообразными* и придают им более *яркую эмоциональную окраску*.

Предложена методика выявления наиболее и наименее типичных представителей каждого класса. Наиболее типичные представители, в частности, могут рассматриваться как своего рода центры кластеризации мелодий. На наличие такой *кластеризации*, проявляющейся в форме *неосознанного заимствования*, мы неоднократно указывали ранее [5].

Л и т е р а т у р а

1. ГУСЕВ В.Д., КОСАРЕВ Ю.Г., ТИТКОВА Т.Н. О задаче поиска повторяющихся отрезков текста //Вычисли-

тельные системы. Вып.62. Ассоциативное кодирование. - Новосибирск,1975. - С. 49-71.

2. ВАХМУТОВА И.В., ГУСЕВ В.Д., ТИТКОВА Т.Н. Поиск и классификация несовершенных повторов в мелодиях песен. //Ученые записки Тартуского гос. универ. - Тарту. - 1988. - Вып. 827: Квантитативн.я лингвистика и автоматический анализ текстов. - С.20-32.

3. ВАХМУТОВА И.В., ГУСЕВ В.Д., ТИТКОВА Т.Н. Представление музыкальных текстов в терминах повторов и возможности его использования //Межвузовский сб. научн. трудов. - Новосибирск. - 1989. - Вып. 8: ЭВМ и проблемы музыкального творчества. -С. 89-106.

4. ЗАРИПОВ Р.Х. Построение частотных словарей музыкальных интонаций для анализа и моделирования мелодий //Проблемы кибернетики. - М., 1981. - Вып. 41. - С.207-252.

5. Выявление и анализ сходных фрагментов в музыкальных произведениях/ И.В.Бахмутова, В.Д.Гусев, З.Х.Зарипов, Т.Н.Титкова //Анализ символьных последовательностей. - Новосибирск,1985. - Вып. 113: Вычислительные системы. - С.3-45.

6. БОРОДА М.Г. О некоторых закономерностях ритмической повторности в народной и профессиональной музыке //Комплексное изучение музыкального творчества: концепция, проблемы, перспективы. - Тбилиси, 1985. - С. 76-97.

7. Русские народные песни. - М.: Музыка, 1988.

8. 350 chansons anciennes. - Paris XIII: Les editions ouvrieres, 12 av. Soeur Rosalie.

9. British and American Songs. - Leipzig: VEB Verlag Enzyklopadie.

10. МАЗЕЛЬ Л.А., ЦУККЕРМАН В.А. Анализ музыкальных произведений. - М.: Музыка, 1967.

11. РУНИОН Р. Справочник по непараметрической статистике. - М.: Финансы и статистика, 1982.

Поступила в редакцию
11 ноября 1996 года