

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ (Вычислительные системы)

1996 год

Выпуск 157

УДК 519.237.8:519.764

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДРЕВНЕРУССКИХ ДВОЗНАМЕННИКОВ: МНОГОЗНАЧНОСТЬ СООТВЕТСТВИЙ "ЗНАМЯ – НОТА" И "НОТА – ЗНАМЯ"¹

И.В.Бахмутова, В.Д.Гусев, Т.Н.Титкова

В в е д е н и е

Одной из актуальных проблем музыкальной медиевистики является дешифровка древнерусских знаменных нотаций XII–XVII веков. Под дешифровкой понимается перевод певческих рукописей, представленных цепочками специальных знаков — знамен — в современную нотолинейную форму. Правила такого перевода не сформулированы в явном виде за исключением разрозненных указаний, содержащихся в древнерусских певческих азбуках [1] и носящих описательный характер. По этой причине большая часть певческих рукописей (в первую очередь XVI века и более раннего периода) все еще не прочитана.

Основным подходом к дешифровке является использование билингв, в качестве которых выступают двознаменники — музыкальные тексты, записанные параллельно в знаменной и нотолинейной форме. Трудности дешифровки связаны с тем, что мы имеем дело с контекстно

¹Работа выполнена в рамках проекта № 96-04-06258, поддержанного Российским Гуманитарным Научным Фондом

зависимым языком. Толкование отдельных знамен зависит от типа элементарных структурных единиц, в которые они входят, места расположения этих единиц в мелодии, гласовой принадлежности и ряда других факторов. Как следствие этого, большинство знамен имеет многозначную интерпретацию.

При анализе соответствия "знамя - нотолинейная цепочка" условно можно выделить два типа многозначности. Первый связан с нотолинейными комбинациями, имеющими разную высотную привязку, но одинаковую интервальную структуру. Второй тип многозначности ассоциируется с возможностью представления знамени нотными цепочками, отличающимися не только звуковысотной привязкой, но и длиной, ритмическими характеристиками, а также величинами звуковысотных интервалов между отдельными элементами цепочки.

Обратное соответствие "нотолинейная цепочка - знамя (или последовательность знамен)" — также многозначно. Одной и той же нотной цепочке могут соответствовать разные знаменные цепочки. Данный тип многозначности исследован хуже, но его изучение имеет важное значение для понимания механизмов варьирования и определения степени близости между попеvками.

Целью работы является количественное исследование проявлений многозначности прямого ("знамя - нота") и обратного "нота - знамя" соответствий на материале двознаменника XVII века. При изучении прямого соответствия нас будет интересовать в первую очередь выявление цепочек знамен длины $l = 1, 2, \dots$, имеющих однозначные нотные эквиваленты в пределах одного гласа. Таковые могли бы послужить хорошими звуковысотными ориентирами в процессе дешифровки. Изучение обратного соответствия представляет интерес в плане выявления групп знамен (или цепочек знамен), допускающих эквивалентное нотолинейное представление в определенных ситуациях.

Из известных нам работ, имеющих отношение к данной проблематике, отметим [2,3]. В них исследовалась

многозначность соответствия "знамя - нота" для отдельных знамен, т.е. для цепочек длины 1 (отличие было в исходных данных и в классах анализируемых знамен). Мы наряду с прямым соответствием исследуем и обратное, не ограничиваясь при этом цепочками длины 1. Нарастивание длины цепочек продолжается вплоть до формирования элементарных структурных единиц типа "попевок". Вопросам автоматического вычленения попевок из текстов песнопений были посвящены наши предыдущие работы, проводившиеся на материале певческой книги "Октоих" XVII века (собрание Кирилло-Белозерского монастыря, ГПБ им. Салтыкова-Шедрина, г. Санкт-Петербург, шифр 632/889) [4,5]. Естественно, что установление соответствий на уровне цепочек произвольной длины достаточно трудоемко и требует привлечения компьютера.

1. Исходный материал и система кодирования

За основу взят вариант "Октоиха" — двознаменника из собрания Соловецкого монастыря, датируемый 1682–1689 г.г. и хранящийся в ГПБ им. Салтыкова-Шедрина, г. Санкт-Петербург, шифр 618/644. Использование именно "Октоиха", а не другой певческой книги, было обусловлено широкой распространенностью его в певческой практике и, что наиболее существенно, возможностью провести сопоставительный анализ с упоминавшимся выше знаменным "Октоихом".

Предварительный сравнительный анализ обоих "Октоихов" показал наличие довольно существенных различий между ними, несмотря на то, что оба датируются XVII веком. Эти различия касаются, в частности, расстановки знаков пунктуации в стихотворном тексте (последние могут быть использованы для выявления кадансовых структур [5]), а также звуковысотных и ритмических помет, привлечение которых может способствовать правильному вычленению попевки в сомнительных случаях. Имеются существенные различия в характере использования отдельных знамен (например, "статьи закрытой

малой": $\equiv \setminus$). Наблюдается заметное варьирование одноименных песнопений в обоих "Октоихах" в виде замен, вставок и устранений как отдельных знамен, так и попевок в целом. Учет указанных различий необходим при проведении рассуждений "по аналогии", широко используемых в задачах дешифровки.

Анализируемый двознаменник фактически представлен четырьмя параллельными текстами: знаменным, пометным, нотолинейным и стихотворным. Для обеспечения синхронности анализа эти тексты кодировались последовательными квантами. Каждый квант включал в себя 4-элементный набор: "звуковысотная помета - знамя и ритмическая помета - соответствующая знамени нотолинейная цепочка - соответствующий знамени фрагмент текста (возможно, пустой в случае распевания предыдущего слога)". При такой кодировке не происходило нарушения синхронности при отсутствии одного из элементов набора (например, пометы или стихотворного фрагмента).

Нотолинейный текст двознаменника написан в *цефатном* ключе, но при кодировании все песнопения транспонировались в *скрипичный* ключ. Диапазон охватывает звукоряд от ноты "соль" первой октавы до "си-бемоль" второй октавы, что после переноса на октаву вниз соответствует диапазону обиходного звукоряда. Звуки первой октавы кодировались заглавными буквами (G - "соль", A - "ля", H - "си"), а звуки второй — прописными: c - "до", d - "ре", e - "ми", f - "фа", g - "соль", a - "ля", b - "си-бемоль" (см. для иллюстрации рисунок).



Для указания длительностей нот использовались следующие обозначения: \circ (целая) — 1, \flat (половинная) — 2, \natural (четвертная) — 4, \sharp (восьмая) — 8, \flat (половинная с точкой) — 2., \natural (четвертная с точкой) — 4.. Таким образом, "соль" первой октавы целая кодируется как G1, "ре" второй октавы половинная — как d2 и т.п.

Для выявления нотных цепочек, отличающихся только секвентным переносом, удобно использовать интервальное представление. Под интервалом понимается число ступеней звукоряда между двумя соседними звуками. Формально, если $(h_1 d_1)(h_2 d_2) \dots (h_l d_l)$ — цепочка нотных знаков в наших обозначениях, где h_k — высота звука, d_k — его длительность, $1 \leq k \leq l$, l — длина цепочки, $l \geq 2$, то интервальное представление цепочки имеет вид: $I_1 I_2 \dots I_{l-1}$, где $I_k = h_{k+1} \ominus h_k$ (" \ominus " — символ специальной операции вычитания). Поскольку величина интервала может быть положительной (движение вверх), отрицательной (движение вниз) или равной 0 (повтор звука), будем использовать для обозначения I запись $(|I_k| +)$ в первом случае, $(|I_k| -)$ — во втором и $(0+)$ — в третьем, хотя при $|I| = 0$ знак $(+)$ ставится условно (в качестве разделителя двух цифр). Нетрудно видеть, что цепочки H4c4d4c4 и d4c4f4e2 эквивалентны в интервальном представлении $(1 + 1 + 1-)$, но отличаются ритмически ($\natural \natural \natural \natural$ и $\natural \natural \natural \flat$), тогда как цепочки H2H2G1 и e2c2c1 эквивалентны и в интервальном отношении $(0+2-)$, и в ритмическом $\flat \flat \circ$.

2. Схема обработки

Анализировались первый и пятый ("считающийся параллельным" первому) гласы "Октоиха". Первый глас представлен в двознаменнике 28 песнопениями (суммарное количество знамен 2090). Пятый глас представлен 26 песнопениями (2330 знамен). При обработке песнопения каждого гласа представлялись в виде единого текста с разделителем между отдельными песнопениями. При

анализе прямого соответствия ("знамя - нота") обработка велась по знаменному компоненту кодировки, а информация о нотолинейных эквивалентах каждого знамени являлась сопутствующей. И, наоборот, при анализе обратного соответствия ("нота - знамя") обработка велась по нотному компоненту кодировки, а информация о знаменах являлась сопутствующей. Во втором случае нотная цепочка, соответствующая знамени, рассматривалась как единое целое (один символ в алфавите всевозможных цепочек фиксированной длины).

Собственно обработка заключалась в вычислении частотных характеристик l -го порядка ($l = 1, 2, \dots, l_{max}$) для знаменного и нотного текстов. Частотная характеристика l -го порядка текста T , обозначаемая $\Phi_l(T)$, представляет собой совокупность всевозможных повторов длины l , содержащихся в T , с указанием их частот, дополненная однократно встречающимися (уникальными) цепочками (более подробно см. [4,5]). Параметр l_{max} — это длина максимального повтора в тексте.

При анализе повторов в знаменном тексте нас в первую очередь интересовали цепочки минимальной длины, имеющие однозначное нотолинейное (или интервальное) представление. Интерпретация таких цепочек связана с определением структурных единиц, в которые они вложены. Для этих целей использовался подход, описанный в [5].

При анализе повторов в нотном тексте нас интересовали цепочки, допускающие многозначность на знаменном уровне. Неординарными, в частности, являются случаи, когда разные (с точки зрения сложившейся классификации) структурные единицы, например, попевки, имеют одинаковое нотолинейное (или интервальное) представление.

3. Анализ соответствия "знамя - нота"

3.1. Нотолинейные эквиваленты элементов алфавита.
В табл.1 приведены наиболее часто используемые знаме-

на в гласах 1 и 5. Каждому знамени соответствует множество его нотолинейных эквивалентов, сумма частот которых равна частоте знамени (если баланс не сходится, значит, опущены редкие комбинации). Нотолинейные эквиваленты разбиты на подгруппы с одинаковой интервальной структурой. Знамена, существенно отличающиеся по частоте встречаемости в обоих гласах, отмечены звездочкой. В дальнейшем будем называть их контрастными.

Анализ табл.1 показывает, что многозначность знамен скорее правило, чем исключение, даже если принимать во внимание наиболее простую ее форму — секвентный перенос. Действительно, свыше половины знамен, представленных в табл.1, имеют ритмическую или "мелодическую" неоднозначность (последняя характеризуется наличием отличающихся интервальных структур в разных нотолинейных интерпретациях одного и того же знамени).

По степени и характеру проявления неоднозначности можно выделить 3 группы знамен. В первую входят знамена с однозначной нотолинейной и ритмической интерпретацией. Таковыми оказались для первого гласа:

$\text{4}, \text{nn}), = \text{—}, = \text{—}, \text{nn—}, \text{nn—}, \text{—};$
 для пятого гласа: $\text{—}, = \text{—}, \text{4}, \text{f}, \text{b}, \text{—}, \text{—}, = \text{—}.$

Все их можно отнести к разряду средне- и даже низкочастотных, что уже свидетельствует об их потенциальной информативности. Многие из них входят в состав кадансовых структур, завершающих попевки ($\text{4}, = \text{—}, \text{b}, \text{f}, \text{nn—}$ и др.).

Указанные выше множества знамен для 1-го и 5-го гласов практически не пересекаются. Более того, свыше половины знамен являются контрастными (они помечены "звездочкой" в табл.1), что говорит об их гласоспецифичности. Тем не менее, если взять конкретное знамя из одного множества (гласа) и оценить степень его неоднозначности в другом (параллельном) гласе, оказывается, что и там оно "почти однозначно", т.е. с большой степенью

Т а б л и ц а 1

Соответствие "знамя - нотолинейная цепочка" для 1-го и 5-го гласов двознаменника
(*F* — частота знамени; частота цепочек указана в скобках; *I* — интервальная структура (пробел, когда знамени соответствует один звук))

№	Г л а с 1			Г л а с 5		
	Знамя	<i>F</i>	Нотолинейная цепочка	<i>I</i>	<i>F</i>	Нотолинейная цепочка
1	2	3	4	5	6	7
1		20	$e2(17), g2(2), d2(1)$		18	$e2(11), c2(5), d2(2)$
2		4	$e2d2(3), d2c2(1)$	1—	6	$A2G2(6)$
3		50	$f2(25), e2(13), d2(12)$		35	$c2(18), d2(6), H2(5), b2(2), H4(2), c4(1)$
4		10	$e2d2(9), f2e2(1)$	1—	16	$c2H2(8), H2A2(3)$
5		188	$g2(79), a2(41), f2(22), e2(21); f4(3), g4(3); e4g4(18); g4f4(1)$		166	$d2(100), e2(39), c2(11), f2(2); d4(2), g4(2); e4g4(6); e8d8(1)$
6		5	$a2(3), g2.(1), g2(1)$	2+ 1—	15	$e2(5), c2(1), a2(1); d2.c4(3), c4.H8(2)$
						1—

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
7	\angle	23	$g2f2(10), f2e2(9)$	1—	16	$e2d2(7), d2c2(6)$	1—
8	\angle	5	$e1(5)$		9	$d1(9)$	
9	\angle	230	$e2(161), d2(33), c2(9),$ $g2(7), f2(7), e4(5)$		226	$e2(86), c2(42), d2(37),$ $A2(21), H2(10); H4(12)$	
10	\angle	5	$d1(4); d2(1)$		9	$c1(9)$	
11	\angle	213	$e4d4(80), g4f4(36),$ $c4H4(33), d4c4(17)$ $d4H4(18), c4A4(5)$	1— 1— 2—	283	$c4H4(124), d4c4(45),$ $e4d4(41), A4G4(15),$ $c4A4(17), c4c4(13)$	1— 1— 2—
12	\angle	13	$e4f4(8), f4g4(4);$ $d4f4(1)$	1+ 2+	15	$H4c4(6), c4d4(4),$ $e4f4(3), d4e4(1)$	1+ 1+
13	\angle	21	$e4f4d4(16), d4c4c4(1)$ $d4f4d4(2)$	1+2— 2+2—	6	$d4e4c4(6)$	1+2—
14)	93	$e2(37), f2(27), g2(12);$ $e2d4(5), e4d2(1)$	1—	88	$e2(49), H2(15), g2(11);$ $c2H4(3), e2d4(2)$	1—

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
15	\int	41	$d4c4(19), c4H4(11);$ $g2(5)$	1-	49	$c4H4(38), H4A4(6),$ $e4d4(5)$	1- 1-
16	\cap	78	$d2(63), A2(6), e2(3);$ $d4(2), e4(1)$		66	$A2(39), c2(6), d2(2);$ $c4(4), A4(4), H4(3)$	
17*	$\cap \downarrow$	50	$d2(17), c2(12); c4(7);$ $c2d2(11)$	1+	19	$G2(14), A2(5)$	
18*	\cap	12	$d2e2(8), f2g2(2);$ $H4c4(1)$	1+ 1+	30	$c2d2(23), d2e2(3);$ $c4d4(2)$	1+ 1+
19	\cap	175	$e4f4(69), c4d4(43),$ $f4g4(26), d4e4(12);$ $c4e4(15), H4d4(1)$	1+ 1+ 2+	227	$c4d4(143), H4c4(51),$ $A4H4(18), c4f4(13);$ $c4e4(1)$	1+ 1+ 2+
20*	\cap^v	12	$e4d2(6), H4A2(4)$ $d4e4d2(2)$	1- 1+1-	27	$H4A2(23), H2A2(1);$ $H4H4A2(1)$	1- 0+1-
21	$\cap \cap$	3	$c4f4g4c4(3)$	1+1+1+	0		

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
22*	$\cap \cap$	0			8	$H4c4d4e4(5);$ $H4c4d4c4(3)$	1+1+1+ 1+1+1-
23	\sim	0			4	$H4A4(4)$	1-
24	\sim	16	$f4e4(10), e4d4(6)$	1-	8	$c4H4(6), A4G4(1)$	1-
25	\sim	76	$f4e4(28), e4d4(27)$ $g4f4(16), a4g4(2);$ $g4e4(3)$	1- 1- 2-	40	$e4d4(37), f4c4(1)$	1-
26	\sim	44	$f4g4(15), e4f4(9),$ $c4d4(7), g4a4(4);$ $d4f4(3), g4b4(1)$	1+ 1+ 2+	73	$c4d4(28), d4e4(10);$ $d4f4(12), A4c4(8);$ $d2(7)$	1+ 2+
27	$=$	138	$d1(57), e1(48), A1(16),$ $G1(11); d2(2), e2(1)$		98	$G1(45), A1(31), d1(14),$ $c1(2); A2(4), G2(1)$	
28	$=$	86	$e1(41), c1(4), d1(2);$ $c4d4c4H4(14);$ $e2.d4(14), d2.c4(9)$	1+1-1- 1-	90	$e2.d4(44), d2.c4(18);$ $c4d4c4H4(10);$ $c1(8), d2.(1)$	1- 1+1-1-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
29	$\equiv \sim$	60	$d4H4c4H4(19);$ $f4g2f4(17);$ $e4f4e4d4(14)$ $a4g2.(3)$	$2-1+1-$ $1+1-$ $1+1-1-$ $1-$	75	$G4c2H4(42);$ $d4H4c4H4(16);$ $e4f4e4d4(10);$ $d4H4c2(4)$	$3+1-$ $2-1+1-$ $1+1-1-$ $2-1+$
30	$\equiv \vdash$	1	$e1(1)$		4	$A1(1), c1(1), H1(1)$	
31	$\equiv -$	61	$e1(52), d1(2); e2(4)$		94	$d1(82), e1(8), c1(2)$	
32	$\equiv \angle$	3	$d2.c4(2), e1.d2(1)$	$1-$	4	$d1.c2(1), d2.c4(1),$ $e2.d4(1), c2.H4(1)$	$1-$ $1-$
33	$\equiv \equiv$	20	$g1(14), a1(6)$		51	$e1(45), d1(4), f1(1)$	
34	$\equiv \downarrow$	15	$d2e4f4(5), e2f4g4(4);$ $e2.f4(4)$	$1+1+$ $1+$	11	$A2H4c4(5)$ $A2c4d4(4)$	$1+1+$ $2+1+$

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
35	\cong	23	$d4e4d2(6), g4a4g2(1)$ $c4d4c4H4(5)$ $d4f4e4d4(4)$	$1+1-$ $1+1-1-$ $2+1-1-$	54	$c4d4c4H4(16),$ $d4e4d4c4(10);$ $d4f4e4d4(9);$ $d4e4d2(8)$	$1+1-1-$ $1+1-1-$ $2+1-1-$ $1+1-$
36	\cong	5	$f4e4(2), g4f4(2);$ $f8e8f4(1)$	$1-$ $1-1+$	16	$e4d4(5), c4B4(1);$ $H4(4), A4(3), c4(2)$	$1-$
37	\cong	4	$f4e2(2), f2e1(1);$ $d4d2(1)$	$1-$ $0+$	2	$f4e2(1), c4H2(1)$	$1-$
38	\cong	27	$f4e4d2(13), f8e8d4(8)$ $g4f4e2(3), c4H4A2(3)$	$1-1-$ $1-1-$	26	$c4H4A2(18), f4e4d2(3)$ $c4H4A4(1)$	$1-1-$ $1-1-$
39	\cup	7	$e4d4(4)$ $d4e4(3)$	$1-$ $1+$	16	$c4e4(7);$ $e4d4(4), c4H4(4)$	$2+$ $1-$
40	\angle	11	$d4c4d2(5), g4f4g2(2)$ $d4c4e2(1), e4d4f2(1)$	$1-1+$ $1-2+$	4	$c4H4c2(2), d4c4d2(2)$	$1-1+$

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
41	$\overline{=}$	14	$f1(12), e1(2)$		15	$c2(5), e2(2); d1(3), f1(2)$	
42	$\overline{=}$	36	$d4e4f2(30), H4c4d2(4)$	1+1+	14	$H4c4d2(14)$	1+1+
43	$\overline{=}$	11	$e2f4e4(11)$	1+1-	9	$d2e4d4(8), c2d4c4(1)$	1+1-
44	$\overline{=}$	20	$c4d4e4d4(14), f4g4a4g4(5)$	1+1+1- 1+1+1-	22	$c4d4e4c4(10)$ $c4d4e4d4(6)$	1+1+2- 1+1+1-
45	$\overline{=}$	16	$c2e2(4); A2c2H4(4); d2e2(2), c2d2(2)$	2+ 2+1- 1+	43	$G4c2(17), G2c2(1); A2c2H4(11)$ $G2c2H4(10)$	3+ 2+1- 3+1-
46	$\overline{=}$	11	$d2g1(5); f2g1(4); c2e1(2)$	3+ 1+2+	1	$d2g1(1)$	3+
47	$\overline{=}$	22	$e4f4g2(22)$	1+1+	7	$H4c4d2(6), d4e4f2(1)$	1+1+
48	$\overline{=}$	4	$e4f4g2(3), e4f4g1(1)$	1+1+	3	$H4c4d1(3)$	1+1+
49	$\overline{=}$	21	$e2f4g4(15), d2e4f4(5)$	1+1+	41	$e2f4g4(25), d2e4f4(16)$	1+1+

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
50	nn —	22	$A1(22)$		74	$A1(70); A2(1)$ $A2.G4(2), A2.G2(1)$	1— 1+1+
51	nn —	9	$d4e4f2(7), e4f4g2(1)$	1+1+	10	$A4H4c2(9), d4e4f2(1)$	1+1+
52	nn —	6	$f4g4a2(6)$	1+1+	15	$c4d4e2(14), A8H8c2(1)$	1+1+
53	\equiv —	2	$a8g8f4g4f4(2)$	1—1—1+1—	2	$d8c8H4c4H4(1),$ $d8c8H4c2(1)$	1—1—1+1— 1—1—1+
54	\equiv —	9	$a8g8f4g4f4(9)$	1—1—1+1—	0		
55	$\equiv \Delta$ —	0			5	$A4H4c2H2A2(5)$	1+1+1—1—
56	\dagger	29	$d1(15), G1(13), e1(1)$		26	$G1(26)$	

Наиболее примечательным из знамен первой группы является "стрела громная": $\text{nn} \text{---}$. Она однозначно интерпретируется в первом гласе, "почти однозначно" — в пятом, где представлена гораздо чаще, но, самое главное, ее интерпретации в обоих гласах совпадают. Таким образом, звуковысотный ориентир, задаваемый "стрелой громной" (уровень А — "ля"), является инвариантом для обоих гласов.

Следует заметить, что грань между однозначно и "почти однозначно" интерпретируемыми знаменами весьма условна. При увеличении объема выборки однозначно интерпретируемое знамя может перейти в разряд "почти однозначных". С этой точки зрения указанные типы знамен можно объединить вместе, считая их все "почти однозначными". Кроме приведенных выше, к этой категории можно отнести также знамена $= \text{---}$, $\text{nn} \text{---}$ (гл.1,5), nn^{\cup} , nn^{\cup} , --- (все из гл.5), $\text{nn} = \text{---}$ (гл.1).

Отклонения от однозначности там, где они имеют место, как правило, малочисленны и поэтому трудны для интерпретации. Каждый такой случай требует индивидуального рассмотрения. Некоторые случаи являются следствием элементарных ошибок, допущенных при написании. Тем не менее, авторы склонны считать, что наличие отклонений (исключений из правил) — явление не случайное (особенно для контекстно — зависимых языков), а закономерное, характерное для всех языковых систем эволюционного типа.

Ко второй группе отнесем знамена, нотоподобные интерпретации которых отличаются лишь высотной привязкой, сохраняя интервальную структуру там, где она присутствует (nn , nn , --- , $= \text{---}$, $\text{nn} \text{---}$ в обоих гласах, nn (гл.1), nn , --- и $= \text{---}$ (гл.5) и т.п.). Как и в предыдущем случае, этот тип многозначности может сопровождаться относительно редкими отклонениями в виде ритмического или мелодического варьирования основных комбинаций. С учетом вышеизложенной оговорки к

пример e1 — "ми", участвуют в формировании нескольких попевок ("грунка", "колесо", "кулизма").

Отдельные знамена наряду с участием в формировании попевок несут и дополнительную функциональную нагрузку. Так, "запятая с крыжем" (\cap_f) входит в со-

став некоторых попевок, но вместе с тем используется и в качестве знамени, открывающего срединные разделы песнопений (эти функции могут быть совмещены, но так происходит далеко не всегда). Отражением подобной многофункциональности является наличие двух существенно различающихся классов нотолинейных представлений этого знамени в гласе 1: $d2, c2, c4$, с одной стороны, и $c2d2$ — с другой. Половинные и четвертные ноты используются, когда "запятая с крыжем" открывает очередной раздел песнопения. Восходящее же секундное движение ($c2d2$) половинными нотами фигурирует в нотолинейном представлении трех цепочек $\cap_f = -$ ($F=4$), $\cap_f = -$ ($F=3$) и $\cap_f = -$ ($F=3$), носящих явно "попевочный" характер. Эти цепочки не вкладываются точно в классификацию А.Н.Кручининой, но имеют близкий аналог в виде различных модификаций попевки "подъем" в том же гласе: $\cap_i = =$, $\cap_i = -$.

Об их близости свидетельствует сходство интервальных структур всех перечисленных цепочек (нисходящее движение на первом знамени и восходящее на двух последних) и наличие "устоя" в виде целой ноты в конце (например, цепочке $\cap_f = -$ соответствует код $c4H4 - c2d2 - e1$, а цепочке $\cap_i = =$ — код $d4H4 - c4d4 - e1$).

Рассмотренные примеры показывают, что для знамен третьей группы число различных классов нотолинейных эквивалентов, соответствующих знамени, отражает степень его "многофункциональности". Именно это обуславливает важность анализа многозначности соответствий "знамя — нота".

Глас 1:

1) $\{ \downarrow \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} ; \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} \cap ; \cap) \} \rightarrow \{ \downarrow \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} \cap (F_3 = 24) : e2 - f4e4 - d2 (F_H = 24); \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} \cap) (22) : f4e4 - d2 - e2(18); \cap) = (22) : d2 - e2 - d1(18) \} \rightarrow \{ \downarrow \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} \cap (21) : e2 - f4e4 - d2 - e2(17); \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} \cap) = (14) : f4e4 - d2 - e2 - d1(12) \} \rightarrow \{ \downarrow \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} \cap) = (14) : e2 - f4e4 - d2e2 - d1(12) \} - \text{"кокиза"}.$

Аналогично, биграмма $\angle \cdot$ при расширении приводит к другой разновидности "кокизы":

$\angle \cdot \downarrow \angle \cdot) = (10) : a2 - g4f4 - g2 - f2 - e1 (10)$

2) $\{ \downarrow \cup ; \cup = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} ; = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus \rightarrow \{ \downarrow \cup = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} (15) : e2 - d4c4 - d4e4f2(12); \cup = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus (13) : d4c4 - d4e4f2 - e1(11); = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus = (7) : d4e4f2 - e1 - d1 (7) \} \rightarrow \{ \downarrow \cup = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus (9) : e2 - d4c4 - d4e4f2 - e1(6); \cup = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus = (7) : d4c4 - d4e4f2 - e1 - d1(6) \} \rightarrow \{ \downarrow \cup = \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus = (6) \} : e2 - d4c4 - d4e4f2 - e1 - d1(5) \} - \text{"грунка"}.$

Глас 5:

3) $\{ \downarrow \downarrow ; \downarrow \downarrow \} \rightarrow \{ \downarrow \downarrow \downarrow (9) : d1 - c1(9) \} \rightarrow \{ \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow (6) : d4e4c4 - d1 - c1(6) \} - \text{"ключ"}.$

4) $\{ \angle \cup (7) : e2 - c4e4(7); \cup \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} (7) : c4e4 - d2(7); \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus (7) : d2 - c1(7) \} \rightarrow \{ \angle \cup \overset{\cdot\cdot}{\curvearrowright} = \setminus = (7) : e2 - c4e4 - d2 - c1 - d1(7) \} - \text{"мережа"}.$

Заметим, что в приведенных примерах все промежуточные цепочки, возникавшие при переходе от биграмм к полным попевкам и опущенные для краткости лишь в примере 4, обладали свойством "почти однозначной" интерпретируемости, равно как и сами попевки. Наибольшей однозначностью характеризуются попевки, являющиеся концевыми в песнопениях ("долинка", "кулизма", "грунка"), вместе с их срединными аналогами (отно-

Т а б л и ц а 2

Соответствие "знамя - нота" на биграммном уровне (F_3 — частота знаменной биграммы; F_H — нотоподлинейной, дефис разделяет компоненты нотоподлинейной биграммы)

Г л а с 1				Г л а с 5			
Знам. бигр.	F_3	Ното- линейные биграммы	F_H	Знам. бигр.	F_3	Ното- линейные биграммы	F_H
1	2	3	4	5	6	7	8
	34	d2-e2	27		46	e2-d1	45
	27	e2-f4e4	27		44	A1-G1	43
	25	f4e4-d2	25		41	G4c2H4-A1	37
	24	g2-f2	22		37	c4H4-A2	35
	22	e4d4-d4H4c4H4	18		32	c4d4-e2.d4	32
	21	d4c4-d4c4f2	19		31	d4c4 - d2	29
	16	g2-f2	15		29	A2-G4c2H4	28
	16	e4f4d4-e1	12		28	c4H4-A1	28
	15	g2-c4f4d4	13		27	c4d4-e1	23
	15	e2-d4c4	12		25	A1-G1	24
	14	d4H4c4H4-A1	13		22	e2f4g4-e2	21
	14	d4c4f2-e1	13		18	G4c2.-d2.c4	16

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
$\eta \cdot)$	13	$e4f4-g2$	11	$\downarrow = \dot{\cdot}$	17	$e4d4-$ $e2f4g4$	13
$= \cdot f$	13	$e1-d1$	12	$= \dot{\cdot} \dot{\cdot}$	15	$d2e4f4-$ $e4d4$	15
$= \dot{\cdot} \downarrow$	13	$e2f4g4-e2$	13	$\angle \cdot)$	14	$c2-H2$	14
$\eta_f = -$	12	$c2d2-e1$	9	$= \cdot \angle \cdot$	14	$d2.c4-d2$	13
$\eta \eta - f$	12	$A1-G1$	12	$= \cdot \dot{\cdot}$	14	$d4H4c4H4-$ $c4d4$	14
$) = \cdot$	10	$g2-$ $e4f4e4d4$	10	$\downarrow = \dot{\cdot}$	13	$A2-G4c2.$	13
$= - = \cdot$	10	$e1-d2.c4$	9	$) = \cdot$	12	$g2-$ $e4f4e4d4$	10
$= \cdot \eta$	10	$e2f4e4-d2$	10	$\dot{\cdot} = \cdot$	11	$e4d4-$ $d4H4c4H4$	10
$\eta \eta - =$	10	$A1-G1$	10	$= = \cdot \dot{\cdot}$	11	$e1-$ $d4e4d4c4$	9
$\dot{\cdot} = -$	9	$f4e4-f1$	9	$\eta = =$	10	$c2d2-e1$	9
$\eta \eta = \cdot$	9	$f8e8d4-$ $f4g2f4$	7	$= \cdot = \cdot$	10	$e4f4e4d4-$ $e4d4c4H4$	10
$= - = -$	9	$f1-e1$	9	$4 \cdot \downarrow$	9	$d1-c1$	9
$\downarrow = \dot{\cdot}$	8	$e4d4-$ $e4f4g2$	8	$) =$	9	$H2-A1$	7

сительное исключение составляет попевка "колесо" из 1-го гласа, демонстрирующая заметную неоднозначность уже на уровне своего архетипа: $\{ \downarrow \uparrow = _ = (9) : e4f4d4 - e1 - d1(6); e4f4d4 - d1 - d1(1); e4f4e4 - e1 - d1(1); e4f4d4 - e1 - e1(1) \}$. Чисто срединные попевки характеризуются большей неоднозначностью, особенно такие, как "хамила", "срединка", "подъем" и др.

Далеко не всегда наиболее устойчивая (кадансовая) часть попевки является одновременно и наименее многозначной. Так, например, биграмма $\rangle = (F = 52, \text{ глас } 1)$, образующая кадансовую структуру в различных модификациях попевки "кокиза", имеет 2 основные формы нотолинейного представления: $f2 - e1 (F = 21)$ и $e2 - d1 (F = 23)$ — ход на секунду вниз: $I = 1-$, а также множество дополнительных (низкочастотных). Оказывается, что первая форма используется в комбинации с "крюком светлым" слева ($\angle _$) $= (21): g2 - f2 - e1 (18)$, а вторая — с "запятой" \cap) $= (22): d2 - e2 - d1 (18)$, причем начальные биграммы этих цепочек, в отличие от конечной, интерпретируемы почти однозначно: $\angle _$) $(24): g2 - f2 (22)$ и \cap) $(34): d2 - e2 (27)$. Этим же свойством обладает и каждая из модификаций попевки.

Подытоживая данный раздел, отметим, что многозначность, принципиально присущая большинству элементов алфавита знамен, существенно уменьшается для цепочек длины 2 и становится незначительной для цепочек большей длины, образующих попевочные структуры и некоторые (но далеко не все) устойчиво повторяющиеся начальные фрагменты разделов песнопений. Наибольшей многозначностью обладают высокочастотные цепочки, предваряющие попевки ($\downarrow \cap$, $\downarrow \downarrow$, $\downarrow \angle$, $\downarrow \downarrow \cap$, $\downarrow \cap \angle$ и т.п.), а также цепочки, стоящие на стыке различных структурных единиц ($= \downarrow$, $= \cap$, $= \downarrow \cap$ и т.п.). Относительно немногочисленные серии "столиц", хотя они часто предваряют попевки, "лица" и "фиты".

4. Анализ соответствий "нота - знамя".

На примере идентификации цепочек $\downarrow \uparrow = -$, $\downarrow \uparrow = -$ и $\hat{=}$ $\uparrow = -$, рассмотренном в разделе 3.1, видно, сколь важным является определение меры близости между отдельными знаменами и их цепочками. В указанном примере мера сходства определялась, исходя из близости *интервально-ритмических структур* соответствующих цепочек. Этот принцип будет использован нами и далее с целью выявления групп близких в определенном смысле знамен и их комбинаций.

Поскольку большинство знамен многозначно, то близкими в первом приближении можно считать знамена, множества нотолинейных эквивалентов которых *пересекаются*, причем мера близости пропорциональна мощности пересечения. В табл. 3 приведены некоторые группы знамен, объединенных по принципу наличия у них общего нотолинейного эквивалента (знамена, редко использующие данный код, опущены). Анализ этой таблицы позволяет выделить классы знамен, объединяемых общностью их интервально-ритмических характеристик.

1) Группа знамен, кодируемых преимущественно одной нотой половинной длительности: \downarrow , \uparrow , \angle , \angle , \angle , \cap , \uparrow . Эти знамена чаще всего фигурируют в начальных фрагментах песнопений и их внутренних подразделов и не характерны для кадансовых структур певков. Часто встречаются в виде серий ("стопиц", "крюков"), однородность которых нарушается вкраплением одиночных знамен из данной же группы ("крюки" в сериях "стопиц"). Цепочки таких знамен легко редуцируются по длине, что обеспечивает возможность гибкой подстройки под стихотворный текст.

2) Группа знамен, кодируемых преимущественно целой нотой: \dagger , $\cap\cap$, $=$, $=$, $=$, $=$, \angle , \downarrow . С некоторой натяжкой сюда можно отнести и "статью закрытую малую" $=$, но она часто допускает и другие возможности кодирования, поскольку многознач-

Соответствие "нотоллинейная цепочка - кодируемые ею знамена" ($F_{Ц}$ — частота цепочки; частоты использования данной цепочки для представления каждого знамени указаны в скобках)

№	Г л а с 1			НЛЦ	Г л а с 5		
	НЛЦ	$F_{Ц}$	З н а м е н а		НЛЦ	$F_{Ц}$	З н а м е н а
1	2	3	4	5	6	7	
1	e2	259	$\downarrow (161), \downarrow (37), \angle_{\dots} (21),$ $\sum (17), \angle_{\dots} (13)$	e2	192	$\downarrow (86), \downarrow (49), \angle_{\dots} (39),$ $\sum (11), \angle_{\dots} (5)$	
2	e1	153	$\neq (52), \neq (48), \neq (41),$ $\angle_{\dots} (5), \neq (2)$	c4d4	179	$\nearrow (143), \neq (28),$ $\angle_{\dots} (4), \nearrow (2)$	
3	d2	137	$\cap (63), \downarrow (33), \cap_{\downarrow} (17),$ $\angle_{\dots} (12), \downarrow (5)$	c4H4	174	$\downarrow (124), \downarrow (38),$ $\neq (6), \downarrow (4)$	
4	e4d4	118	$\downarrow (80), \neq (27), \neq (6),$ $\cup (4)$	d2	157	$\angle_{\dots} (100), \downarrow (37), \neq (7),$ $\angle_{\dots} (6), \downarrow (2), \cap (2)$	
5	g2	108	$\angle_{\dots} (79), \downarrow (12), \downarrow (7), \downarrow (5)$	d1	112	$\neq (82), \neq (14), \angle_{\dots} (9)$	

Примечание: НЛЦ — нотоллинейная цепочка

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
16	$d4e4f2$	37	$\overline{\vdash} (30), \wedge \overline{\vdash} (7)$	$d2.c4$	23	$\overline{\vdash} (18), \overline{\vdash} (3)$
17	$G1$	24	$\vdash (13), \overline{\vdash} (11)$	$H4$	21	$\vdash (12), \overline{\vdash} (4), \wedge (3)$
18	$c2$	21	$\wedge_+ (12), \vdash (9)$	$H4c4d2$	20	$\overline{\vdash} (14), \overline{\vdash} (16)$
19	$c4d4c4H4$	19	$\overline{\vdash} (14), \overline{\vdash} (5)$	$e4f4$	19	$\wedge (13), \overline{\vdash} (3), \vdash (3)$
20	$e2f4g4$	19	$\overline{\vdash} (15), \overline{\vdash} (4)$	$d2e4d4$	11	$\overline{\vdash} (8), \overline{\vdash} (3)$
21	$d4e4$	17	$\wedge (12), \cup (3), \overline{\vdash} (2)$	$A2H4c4$	9	$\overline{\vdash} (5), \wedge (3)$
22	$e2d2$	13	$\overline{\vdash} (9), \overline{\vdash} (3), \overline{\vdash} (1)$	$A4$	9	$\wedge (4), \overline{\vdash} (3), \vdash (2)$
23	$d2e4f4$	10	$\overline{\vdash} (5), \overline{\vdash} (5)$	$A2.G4$	7	$\overline{\vdash} (5), \wedge \overline{\vdash} (2)$
24	$d4e4d2$	8	$\overline{\vdash} (6), \wedge \cup (2)$	$H4c4d4c4$	5	$\wedge (3), \overline{\vdash} (2)$

на по своей функциональной нагрузке. В данной группе (так же, впрочем, как и в предыдущей) можно выделять подгруппы знамен, ориентируясь на различия в их звуковысотной привязке. В частности, за знаменами \uparrow и \wedge — закреплена нижняя часть звуковысотного диапазона. Знамена данной группы формируют кадансовые структуры попевок.

3) Группа знамен, кодируемых в основном двумя четвертными при нисходящем движении ($I = 1-$): \downarrow , \downarrow' , \downarrow'' , \downarrow''' , \downarrow'''' активно используется во внекадансовых фрагментах попевок. К данной группе примыкают более редко используемые знамена, кодируемые двумя половинными нотами при нисходящем движении ($I = 1-$): \downarrow , \downarrow' , \downarrow'' . Как видим, добавление подчасия приводит к удлинению нотолинейной цепочки (2 ноты вместо одной) и формированию нисходящего движения.

4) Группа знамен, кодируемых преимущественно двумя четвертными при восходящем движении ($I = 1+$): \uparrow , \uparrow' , \uparrow'' . Они часто используются в качестве переходных элементов между двумя структурными единицами и в попевках типа "подъем", "путик". К данной группе примыкает также "голубчик тихий" (\wedge), кодирующий восходящее движение двумя нотами половинной длительности (аналогичную функцию может выполнять и "запятая с крыжем" (\uparrow) в первом гласе).

Противоречиво по своей природе знамя \cup ("чашка"), которое может кодировать четвертными долями как восходящее, так и нисходящее движение (см. табл.1).

Знамена, кодируемые нотолинейными цепочками длины 3-5, гораздо реже имеют совпадающие нотолинейные эквиваленты. Наиболее интересные примеры представлены в табл.3 строками № 16,20,24 (гл.1), № 16,18,21,24 (гл.5), а также строками № 19 (гл.1) и № 14 (гл.5), показывающими

ми, что в определенных ситуациях знаменам \equiv и \equiv может соответствовать в обоих глазах одинаковый нотоподлинный эквивалент $c4d4c4H4$.

Ниже приведены примеры взаимозаменяемости знамен из указанных выше групп. Это образцы варьирования одних и тех же песнопений ("степенны", "антифоны") из "Октоихов" Кирилло - Белозерского (КБ) и Соловецкого (С) монастырей. Примеры представлены в виде выравниваний соответствующих друг другу фрагментов. Указаны звуковысотные пометы там, где они проставлены.

1. Глас 1

$$\pi = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{--- "долинка" (КБ)}$$

$\pi = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{3}}$ — "срединка" (С)

2. Глас 2

— "подъем" (КВ)

— аналог "подъема", (С)
неидентифицируемый в
соответствии с [6]

3. Глас 5

И — "Долинка" (КБ)

а) $\pi \xrightarrow{\sim} \pi$ — "долинка" (С)

б) $\Gamma: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^2, \pi = - \frac{\pi}{2}$ — "кокиза?" (КБ)

н: $\frac{\pi}{4}$ $\frac{\pi}{4}$ $\frac{\pi}{4}$ — "ключ" (С)

4. Глас 6

$\angle \text{ан} \div \text{н} = \text{н} =$ — "долинка" (КВ) +

$\frac{N}{\angle} \cdot \frac{r}{\angle} = \frac{r}{\angle} \cdot \frac{N}{\angle}$

"долинка" "подъем"

"подъем" (С)

Нетрудно видеть, что несмотря на существенные внешние различия отдельных пар фрагментов (особенно 1 и 3"б"), они близки друг другу, поскольку каждая пара элементов по вертикали состоит либо из тождественных, либо из взаимозаменяемых знамен. Совпадающие цепочки звуковысотных помет подчеркивают близость, являясь своеобразным инвариантом выравнивания.

В приведенных выше примерах максимальная длина знаменных цепочек, отличающихся друг от друга по каждой позиции, но имеющих одинаковый нотолинейный эквивалент, равна 3. Этот "рекорд" сохраняется и для гласов 1,5 в целом. Такие цепочки довольно редки. Цепочек длины 2 относительно много. Например, нотолинейной комбинации $e2 - d2$ ($F=21$, глас 1) соответствуют цепочки знамен $\angle \cap$ ($F=4$), $\downarrow \downarrow$ ($F=4$), $\angle \downarrow$ ($F=4$), $\downarrow \cap$ ($F=6$) и ряд других, а более длинной, но также биграммной на уровне знамен, комбинации $e2 - d4e4d2$ ($F=8$) — цепочки $\cap \cap \cup$ ($F=2$), $\angle \downarrow \hat{=}$ ($F=2$) и $\hat{=}$ ($F=4$), что размывает грань между "хамиллой" и "поверткой".

Заканчивая данный раздел, отметим, что мы не рассматривали в данной работе случай, когда более длинные в нотолинейном представлении знамена могут рассматриваться как конкатенации более коротких (так, код $e2d2$, со всеми требуемыми оговорками объединяющий знамена \angle , \downarrow , $\hat{=}$, является конкатенацией кодов $e2$ и $d2$, представляющих уже пары знамен (см. предыдущий абзац)). Возможности такого рода имеют непосредственное отношение к проблеме варьирования путем вставок или устранений символов и требуют специального рассмотрения.

З а к л ю ч е н и е

Соответствие между знаменным и нотолинейным текстом неоднозначно в обе стороны. Одному знамени может

соответствовать множеством нотолинейных эквивалентов и, наоборот, одной ноте или цепочке нот может соответствовать множество знамен или цепочек знамен. Подобная многозначность есть проявление контекстной зависимости языка знаменных песнопений. Целью работы являлось количественное исследование проявлений многозначности на реальном певческом материале — двознаменнике XVII века.

Проведена классификация знамен по степени и характеру проявления неоднозначности прямого соответствия "знамя — нота". Выделены три группы знамен: 1) с однозначной или "почти однозначной" нотолинейной интерпретацией в одном глазе; 2) многозначные, но с одинаковой интервально-ритмической структурой своих нотолинейных эквивалентов, отличающихся друг от друга только высотной привязкой; 3) функционально многозначные, нотолинейные интерпретации которых отличаются по мелодическому и (или) ритмическому рисунку. Наибольший интерес представляют знамена первой группы, задающие звуковысотные ориентиры при дешифровке, и знамена третьей группы, неоднозначность которых носит принципиальный характер, поскольку обусловлена их многофункциональностью.

Показано, что многозначность, принципиально присущая большинству знамен алфавита, уменьшается при переходе от отдельных знамен к их цепочкам длины 2 и становится незначительной для цепочек большей длины, образующих попевочные (и отличные от них) структуры.

При анализе обратных соответствий "нота — знамя" выделены классы условно-эквивалентных знамен и цепочек знамен, допускающих в определенных ситуациях одинаковое нотолинейное представление. Эти результаты имеют существенное значение для осмысления схем варьирования, присущих знаменным песнопениям. Они могут быть использованы также для идентификации структур попевочного типа, не вкладывающихся в существующую классификацию, и для обнаружения ошибок в текстах знаменных песнопений.

Л и т е р а т у р а

1. ШАБАЛИН Д.С. Певческие азбуки Древней Руси. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1991. – 211с.
2. СМОЛЯКОВ В.Г. К проблемам расшифровки знаменной нотации // Вопросы теории музыки. – М.: Музыка, 1975. – Вып.3. – С.41–69.
3. ШАБАЛИН Д.С. О дешифровке "единогласостепенных знамен" и реконструкции звуковой системы строки // Проблемы дешифровки древнерусских нотаций. – Л., 1987. – С.49–72.
4. Дешифровочный подход к анализу древнерусских песнопений /И.В.Бахмутова, В.Д.Гусев, Т.Н.Титкова, В.А.Шиндин //Анализ последовательностей и таблиц данных. – Новосибирск, 1994. – Вып. 150: Вычислительные системы. – С.107–130.
5. Об одном подходе к проблеме дешифровки древнерусских песнопений в невменной записи /И.В.Бахмутова, В.Д.Гусев, Т.Н.Титкова, В.А.Шиндин //Труды Сибирской конференции по прикладной и индустриальной математике памяти Л.В.Канторовича. – Новосибирск, 1995. – Т.2. – С.1–9.
6. КРУЧЕНИНА А.Н. Попевка в русской музыкальной теории XVII века: Дисс.... канд. искусствовед. наук: 17.00.02 – Л., 1979.

Поступила в редакцию
28 ноября 1996 года