



И. В. БАХМУТОВА, В. Д. ГУСЕВ, Т. Н. ТИТКОВА
Институт математики им. С. Л. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук





УДК 781.24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИЛИНГВ «ЗНАМЯ – НОТА» ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИНВАРИАНТНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ ЗНАМЕННОГО РАСПЕВА¹

Древнерусские церковные песнопения XII–XVIII веков представлены преимущественно в знаменной форме записи. Проблема их перевода в современную нотолинейную форму носит дешифровочный характер и в общем случае (песнопения раннего и среднего периода) остаётся нерешённой [7]. По оценкам, приведённым Б. П. Кутузовым [9], количество известных певческих книг (рукописей) превышает тысячу экземпляров, из которых лишь около половины считаются *читаемыми*.

Особый интерес в плане дешифровки представляют *двознаменники*, являющиеся своего рода *билингвами* знаменного распева. Это певческие книги конца XVII – начала XVIII столетий, содержащие песнопения, записанные параллельно в знаменной и нотолинейной форме. Число таких книг невелико (порядка десяти, см.: [7]).

В истоках знаменного распева лежит древнегреческое церковное пение на 8 ладов (гласов): дорийский, фригийский и т. д. (так называемая *система осмогласия*). В русском осмогласии понятие гласа деформировалось, а средством его мелодической характеристики стала выступать система *попевок* – основных структурных единиц (*СЕ*) знаменного распева. Интерпретация знамени зависит от гласа, типа *СЕ*, в состав которой оно входит, её позиции в тексте и ряда других факторов. Характер многозначности соответствия «знамя – нота» отражён в построенной нами на основе двознаменников электронной азбуке знаменного распева [3]. Некоторые знамена, например, такие как  («статья закрытая малая») или  («статья простая с подвёрткой») имеют до 10 различных интерпретаций, отличающихся друг от друга интервально-ритмическими характеристиками и высотой. Именно с многозначностью соответствия «знамя – нота» связаны основные проблемы дешифровки.

В XVII веке знамена начинают снабжать *степенными* и *указательными пометами*. Первые уточняют высоту распева знамени, вторые – особенности его распева. Термин «*читаемые*» относится к пометным рукописям, хотя и здесь однозначный результат не гарантирован (см.: [1; 2]). *Беспомятые* рукописи XVI

столетия и более раннего периода практически *нечитаемы*.

Для устранения неоднозначности можно использовать контекст, привлекая такие *СЕ*, как *попевки*, *лица*, *фиты* и др. Однако известные подборки этих *СЕ* (азбуки, кокизники, фитники) мало пригодны для целей дешифровки из-за формы их представления. Так, в подборке В. М. Металлова [10] попевки приведены только в нотолинейной форме, а в подборке М. В. Бражникова [8] около половины лиц и фит имеют лишь знаменное представление.

Опираясь на двознаменники, мы предложили *новую систему СЕ* знаменного распева, основанную на выявлении в текстах двознаменников цепочек знамен длины L ($L=1,2,\dots$), *однозначно* или *почти однозначно* (с допустимыми отклонениями) интерпретируемых в пределах одного гласа. Цепочки первого типа названы *внутригласовыми инвариантами (ВИ)*, а второго – *квазиинвариантами (КВИ)*. При всей вариативности знаменного распева в каждом гласе существует некоторое количество знамен, то есть цепочек длины 1, не меняющих своей интерпретации (см.: [3]). Обычно их доля не превышает 10% от размера алфавита.

В ряде наших публикаций [5; 6] описаны словари *ВИ* и *КВИ*, построенные на основе отдельных двознаменных Октоихов (этому предшествовала объёмная, кропотливая работа по переводу двознаменников в цифровую форму; программ распознавания знаменной нотации, насколько нам известно, не существует). Получены оценки покрываемости контрольных песнопений цепочками из этих словарей. Основным недостатком описанного подхода к дешифровке является зависимость понятий *ВИ* и *КВИ* от объёма и состава исходной подборки. При увеличении её объёма или изменении жанрового состава отдельные *ВИ* могут перейти в категорию *КВИ*, а некоторые *КВИ* перестают быть таковыми (исчезает доминирующая интерпретация). Использование *ВИ* и *КВИ* уменьшает степень неопределённости в трактовке входящих в них знамен, но не исключает появления конкурирующих интерпретаций у конкретного знамени.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №13-07-00400.



остальным картина сходная). Для сравнения указаны аналогичные данные по отдельным Октоихам (619/647 – глас 1 и 618/644 – глас 4).

Таблица 1. Количество различных *ВИ* и *КВИ* длины *L*, зафиксированное для трёх Октоихов (левая половина таблицы) и одного из них (правая половина)

Глас	L	Три двознаменника			Один двознаменник Sol 619/647		
		<i>ВИ + КВИ</i>	<i>ВИ</i>	<i>КВИ</i>	<i>ВИ + КВИ</i>	<i>ВИ</i>	<i>КВИ</i>
1	1	44	10	34	35	10	25
1	2	226	93	133	135	66	69
1	3	319	150	169	135	79	56
1	4	320	165	155	111	72	39
1	5	242	136	106	79	58	21
1	6	168	100	68	57	43	14
1	7	107	69	38	32	24	8
1	8	63	44	19	15	12	3
1	9	27	19	8	5	5	0
1	10	11	8	3	2	2	0
Sol 618/644							
4	1	38	10	28	30	5	25
4	2	253	98	155	110	40	70
4	3	364	182	182	124	49	75
4	4	342	170	172	108	39	69
4	5	281	149	132	76	37	39
4	6	176	102	74	40	26	14
4	7	96	62	34	23	13	10
4	8	48	35	13	9	7	2
4	9	23	18	5	4	4	0
4	10	14	9	5	2	2	0

Анализ таблицы 1 показывает, что:

1) размеры словарей *ВИ* и *КВИ* с увеличением объёма исходного материала заметно растут за исключением случая $L=1$, где результаты сопоставимы;

2) словари *ВИ* и *КВИ*, построенные по трём двознаменникам, достаточно представительны (в сумме порядка полутора тысяч цепочек знамен разной длины в каждом гласе), что обеспечивает относительно высокую покрываемость дешифруемых песнопений;

3) длины *ВИ* и *КВИ* меняются в диапазоне от 1 до 10 и более знамен. Средние значения этого диапазона примерно соответствуют длинам попевок. Короткие *ВИ* и *КВИ* ($L=1 \div 4$) характеризуют наименее вариативные фрагменты попевок. Длинные *ВИ* и *КВИ* ($L \geq 9$) являются устойчиво повторяющимися комбинациями разных *СЕ* (двух и более попевок, тандемного повтора с попевкой и т. п.).

Поясним, за счёт чего меняется размер словарей *ВИ* и *КВИ* при увеличении объёма исходных данных. Для простоты ограничимся случаем отдельных знамен ($L=1$, глас 1) и сравним составы словарей *ВИ* и *КВИ*, построенных по одному Октоиху (619/647) и по трём. В первом случае словарь *ВИ* и *КВИ* длины 1 содержит 35 знамен, во втором – 44 знамени. Из 35 знамен, составляющих

список *ВИ* и *КВИ* для одного Октоиха, 29 сохранили свой статус при утроении объёма исходных данных. Однако внутри этой группы *ВИ* и перешли в разряд *КВИ* (появились трактовки, отсутствующие в Октоихе 619/647). Шесть *КВИ* из 619/647 () при добавлении новых данных потеряли свой статус. Например, «статья светлая» – *КВИ* в 619/647 ($F_{\text{дом}}/F=123/20 > 1/2$) – уже не является *КВИ* для трёх Октоихов ($F_{\text{дом}}/F=30/63 < 1/2$).

Из 44 знамен, отнесённых к категории (*ВИ + КВИ*) на материале трёх Октоихов, 15 *ВИ* и *КВИ* фигурируют впервые. Их можно разделить на относительно высокочастотные ($F \geq 34$) и низкочастотные ($F \leq 8$), среднечастотных мало. Знамена *первой группы* не вошли в словарь *КВИ* для 619/647, но были близки к этому. Добавление нового материала изменило баланс частот и перевело их в категорию *КВИ*. Ко *второй группе* относятся знамена, которые по отдельным двознаменникам чаще всего не попадали в словари инвариантов из-за низкой частоты встречаемости ($F < 3$). Но при объединении двознаменников их суммарная частота уже превысила значение $F_{\text{нор}}=3$. Так, знамя попало в разряд *КВИ* по трём Октоихам с показателями $F=5$, $F_{\text{дом}}=4$, хотя в 619/647 оно не представлено, в *QI* встретилось один раз и только в 618/644 имело статус *КВИ* ($F=4$, $F_{\text{дом}}=3$). Знамена второй группы заметно пополняют словари *ВИ* и *КВИ* при увеличении объёма данных, но эффект от их использования при дешифровке невелик из-за малой частоты встречаемости.

Оценка покрываемости контрольных песнопений цепочками из словарей *ВИ* и *КВИ*

В данной работе словари *ВИ* и *КВИ* строятся на материале трёх Октоихов, а в качестве контрольного материала используются двознаменники других жанров («Праздники» и «Ирмологий»). Для сравнения реконструированного распева с реальным привлекается только их нотолинейная составляющая.

Покрываемость песнопения $T=t_1 t_2 \dots t_n \dots t_N$ цепочками знамен из словарей *ВИ* и *КВИ* осуществляем итеративно по L , т.е. сначала используем *ВИ* и *КВИ* длины 1, затем длины 2 и т. д. При $L=1$ произвольное знамя t_n песнопения может быть покрыто единожды, если найдётся идентичный ему *ВИ* или *КВИ* длины 1. В таком случае создаём список возможных интерпретаций знамени t_n и заносим в него певческое значение t_n из словаря инвариантов. При $L=2$ знамя t_n может быть покрыто дважды

ды, если среди *ВИ* (*КВИ*) длины 2 найдутся цепочки, совпадающие с биграммми $t_{n-1}t_n$ и $t_n t_{n+1}$ песнопения. В этом случае пополняем список возможных интерпретаций знамени t_n его значениями в составе указанных выше биграммных инвариантов.

При $L \geq 3$ на каждой итерации имеем не более чем L возможностей покрытия знамени t_n цепочками *ВИ* и *КВИ* длины L . Продолжаем пополнять список возможных интерпретаций знамени t_n вплоть до исчерпания словарей *ВИ* и *КВИ* для данного гласа. Из множества полученных певческих значений для t_n выбираем самое частое. При равенстве голосов фиксируем случайным образом любой вариант.

По итогам описанной процедуры каждое знамя в песнопении либо получает единственную интерпретацию, хотя и не всегда правильную, либо не покрывается ни одной из цепочек словарей *ВИ* и *КВИ*. Сравнение результатов реконструкции с реальным нотолинейным текстом позволяет оценить количество правильно интерпретированных знамен (n_+) и число знамен, трактовка которых отличается от истинной (n). Коэффициент покрытия песнопения цепочками из словарей *ВИ* и *КВИ* мы определяем тогда как отношение $k = n_+ / N$, где N – число знамен в песнопении ($0 \leq k \leq 1$). Коэффициент покрытия гласа, представленного группой контрольных песнопений, можно определить либо как среднее коэффициентов покрытия отдельных песнопений, либо в виде отношения $\bar{k} = \bar{n}_+ / \bar{N}$, где \bar{n}_+ – суммарное число знамен, правильно интерпретированных во всех песнопениях гласа, а \bar{N} – суммарная длина песнопений. Показатель \bar{k} характеризует эффективность использования словарей *ВИ* и *КВИ* для дешифровки беспометных песнопений.

Нами проведено три эксперимента для оценки покрываемости контрольных песнопений цепочками *ВИ* и *КВИ* из словарей, построенных по трём Октоихам. В первом эксперименте разделение данных, используемых для обучения и контроля, осуществлялось с помощью процедуры «скользящего контроля». Суть её состоит в следующем:

- объединяем песнопения i -го гласа ($1 \leq i \leq 8$) из трёх Октоихов в одну группу $T_i = T_{i1}, T_{i2}, \dots$;
- удаляем песнопение T_{i1} , а по оставшимся строим словаря *ВИ* и *КВИ*;
- вычисляем коэффициент покрытия k_{i1} удалённого песнопения T_{i1} , используя построенные словари;
- возвращаем T_{i1} в исходную подборку, удаляем следующее песнопение T_{i2} и повторяем процесс до исчерпания всех ni песнопений i -й группы;

– вычисляем усреднённый показатель покрываемости песнопений i -го гласа: $\bar{k}_i = (\sum_{n=1}^n k_{in}) / n_i$.

В таблице 2 приведены усреднённые оценки покрываемости песнопений каждого гласа, полученные в режиме «скользящего контроля» для четырёх случаев: «а» (первая строка) – обучение и контроль проводятся на материале трёх Октоихов; «б», «в», и «г» (строки 2, 3, 4) – аналогичные данные, полученные при обучении и контроле по каждому Октоиху отдельно (соответственно, 619/647, 618/644 и Q1188). Нетрудно видеть, что при обучении на полном материале (строка «а») показатели покрываемости в среднем выше, чем при обучении и контроле по отдельным Октоихам. Словари *ВИ* и *КВИ*, используемые в случае «а», более универсальны и применимы даже к песнопениям других жанров, тогда как словари, характеризующие случаи «б», «в», «г» – узконаправленные. Если обучение проводить на одном Октоихе, а на контроль предъявить другой, показатели снижаются примерно на 10%. Снижение показателей в случае «в» по сравнению с «б» можно объяснить различием в датировке Октоихов (около полувека). Наихудшие показатели в случае «г» объясняются малым объёмом материала обучения (на треть меньше, чем в «б» и «в»).

Таблица 2. Оценки покрываемости песнопений цепочками из словарей *ВИ* и *КВИ* («скользящий контроль»; $F \geq 3$, $F_{\text{оюн}}/F > 1/2$)

Гласы	1	2	3	4	5	6	7	8
«а» \bar{k} :	0,786	0,701	0,744	0,730	0,735	0,685	0,801	0,725
«б» \bar{k} :	0,730	0,654	0,705	0,720	0,753	0,665	0,815	0,709
«в» \bar{k} :	0,729	0,610	0,690	0,635	0,702	0,608	0,780	0,647
«г» \bar{k} :	0,654	0,565	0,671	0,587	0,618	0,583	0,643	0,638

Во втором эксперименте в качестве контрольного материала использован двознаменник «Праздники». Результаты приведены в таблице 3.

Коэффициент покрытия гласа оценивался отношением $\bar{k} = \bar{n}_+ / \bar{N}$. Показатели строки «а» вновь выше показателей остальных строк. Однако в целом результаты из таблицы 3 несколько уступают аналогичным данным из таблицы 2. Это объясняется тем, что новый материал не связан с обучающим (при «скользящем контроле» такая связь частично сохранялась).

Таблица 3. Оценки покрываемости контрольных песнопений (Праздники) цепочками из словарей *ВИ* и *КВИ*, построенных на материале Октоихов

Гласы	1	2	3	4	5	6	7	8
«а» \bar{k} :	0,690	0,518	0,726	0,652	0,603	0,546	0,602	0,543
«б» \bar{k} :	0,653	0,485	0,712	0,629	0,589	0,491	0,586	0,511
«в» \bar{k} :	0,592	0,447	0,641	0,520	0,539	0,411	0,504	0,367
«г» \bar{k} :	0,463	0,287	0,554	0,309	0,393	0,305	0,403	0,271



В третьем эксперименте контрольный материал был представлен 22 песнопениями первого гласа Ирмология. Коэффициент покрываемости этих песнопений инвариантами первого гласа, полученными на материале трёх Октоихов, составил 0,687.

Обсуждение результатов

1) Словари *ВИ* и *КВИ*, построенные на основе трёх Октоихов, достаточно представительны и в состоянии обеспечить дешифруемость независимого контрольного материала, близкую в среднем к 60–70% даже при отсутствии помет у знамен. Анализ покрываемости отдельных песнопений выявил редкие аномалии – песнопения с коэффициентами покрытия порядка 0,2 и ниже. Причинами подобных аномалий могут быть: *неверно указанная гласовая принадлежность* песнопения (оно плохо дешифруется по словарю «собственного» гласа, но гораздо лучше по словарю другого); *наличие большого количества лиц и фит* в песнопении (разводы лиц и фит «рядовым» знаменем не всегда стандартны); *неоговариваемые звуковысотные переносы* отдельных фрагментов мелодии.

2) Контрольный двознаменник КБ 797/1054 («Праздники») в основном составляют стихиры. Они значительно отличаются от стихир в Октоихах сложностью и развитостью распева, вариативностью, широтой динамического диапазона. Так, биграмма $\text{L} \text{L}$, часто встречающаяся в тандемном варианте ($\text{L} \text{L} \sim e2*d1 * e2*d1$) в песнопениях гласа 4 (КБ), представлена в том же гласе всех Октоихов всего 4 раза, не образует тандемных вхождений и имеет доминирующую интерпретацию $c2*H1$, отличную от $e2*d1$. Как следствие, данная цепочка в песнопениях гласа 4 (КБ) интерпретирована неверно. Из этого следует, что кроме настройки на конкретный глас желательна настройка и на конкретный жанр.

3) Ошибочно трактуемые знамена часто располагаются между попевочными структурами. Среди таких «связующих» знамен много высокочастотных: L , L , L и др. Порой они образуют тандемно повторяющиеся структуры, однако им не всегда соответствует нотолинейный повтор, что приводит к ошибкам. Знамена, не покрытые ни одним *ВИ* или *КВИ*, являются низкочастотными ($F < F_{\text{ноп}}$), либо не имеют доминирующей интерпретации. Однако иногда удаётся восстановить их певческое значение, прибегая к электронной азбуке [3], либо используя общеизвестные правила знаменной нотации [7].

Проиллюстрируем реально возникающие ситуации. Ниже приведены результаты дешифровки фрагмента песнопения 4-го гласа из КБ 797/1054 (стихира: «Веселяся прииме Захарие...») (схема 1). Используются словари *ВИ* и *КВИ*, построенные по трём Октоихам. Фрагмент начинается с 11-й позиции и продолжен с 20-й. Каждая строка двознаменного текста – это последовательность знамен, ниже – их певческие значения. Знамена помечены сверху одним из трёх символов: «+» означает, что знамя интерпретировано правильно; «?» – знамя интерпретировано неверно (ошибочная трактовка приведена ниже истинного значения); «-» – знамя не покрыто ни одним *ВИ* или *КВИ*. Поясним случаи, помеченные знаками (?) и (-). Знамя в позиции 12 интерпретируется с помощью *КВИ* ($\text{L} \text{L} \sim d4e4d4c4 * H4c4d4e4 * e4d1$) как $e4d1$, что близко к истинному значению ($e4d2$). Необходимую поправку можно было бы сделать, обратившись к В. М. Металлову [10], где цепочка $H4c4d4e4 * e4d2$ представлена в 4-м гласе как попевка «дербица малая», знаменный эквивалент которой, в соответствии с [4], имеет вид $\text{L} \text{L}$. Знамя L (поз. 15) интерпретировано нами как $g4f4$, что соответствует стандартному движению мелодической линии на секунду вниз. Истинная же интерпретация ($g4e4$) предписывает нетипичный скачок вниз на терцию. Таким образом избегают повторения звука ($f4$) при переходе к следующему знамени. На эту особенность знаменного распева указывается при описании азбуки на сайте «Дьячье око». Соответствующую коррекцию легко ввести в алгоритм дешифровки.


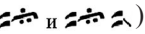
Цепочка $\text{L} \text{L}$ (поз. 18, 19) интерпретируется ошибочно ($g4a4 * g1$) по сравнению с истинным значением ($f4g4 * a1$). Отметим два несоответствия. Первое: «статья светлая» (L) обычно указывает на мелодическую вершину, здесь же это не так (уровень «g» ниже уровня «a»). Второе несоответствие: обычно «голубчик борзый» (L) интерпретируется двумя четвертными в восходящем движении и чаще всего подводит к следующему за ним знамени «снизу», оставаясь на ступень ниже первой ноты в распеве этого знамени (см.: [2]). В ошибочной версии всё наоборот.

Схема 1

поз:	+	?	+	+	?	+	+	?	?
11	$\text{L} \text{L}$	L	L	L	L	L	L	L	L
	$H4c4d4e4$	$e4d2$	$d2$	$e4f4$	$g4e4$	$f4g4a4g4$	$a1$	$f4g4$	$a1$
		$e4d1$		$g4f4$				$g4a4$	$g1$
поз:	+	+	+	+	?	-	+	+	+
20	L	L	L	L	L	L	L	L	L
	$g2$	$f4e4$	$f4g4a2$	$g4f4$	$e2d2$	$e4f4g4e4$	$f2.e4$	$f4g4f4e4$	$d1$
					$d2c2$				

Как видим, интерпретация «статьи светлой» в позиции 19 вызывает сомнения, в связи с чем нужно изменить трактовку этого знамени. Возможны два варианта: $a1$ и $f1$ (они фигурируют в электронной азбуке [3], но уступают доминирующему инварианту $g1$). Выбор $f1$ в качестве истинного значения лишь усложнит ситуацию. Остаётся значение $a1$. Оно и определяет правильную интерпретацию L перед L : это $f4g4$ – подвод «снизу» к $a1$.

Переходя к позиции 24, отмечаем, что истинная интерпретация ($e2d2$) знамени L на ступень выше восстановленного значения ($d2c2$), что, по-видимому, допустимо, но нару-

шает постепенный характер движения звуковысотной линии вниз, а затем вверх ($g4f4*e2d2*e4f4g4...$), типичный для знаменного распева. Знамя  (поз. 25) не покрыто ни одним *КВИ*. Оно встречается во всех трёх Октоихах 34 раза, но не имеет доминирующей интерпретации (наиболее частые трактовки – $e4f4g4e4$ и $f4g4a4g4$ – встретились каждая по 10 раз). В комбинации со своими соседями () знамя не встретилось в Октоихах ни разу. С равными основаниями можно использовать любую из указанных выше трактовок.

Анализ ошибок и отказов от дешифровки показывает, что:

а) ошибки часто носят характер «допустимого варьирования». Случаев радикального искажения нотолинейной структуры не отмечено;

б) в ряде случаев учёт специфических особенностей знаменного распева позволяет внести необходимые поправки в результаты дешифровки, полученные в рамках используемого подхода;

в) существенную роль играет жанровая принадлежность песнопений. Построение словарей инвариантов отдельно по разным жанрам может устранить некоторые типы ошибок;

г) следует уделить особое внимание специфическим *СЕ* знаменного распева, таким как фиты, лица, тандемные повторы. Ввиду более редкой встречаемости, чем попевок, и высокой вариативности, они не всегда фиксируются в словарях инвариантов.

Итак, в работе рассматривается одна из наиболее известных и по сей день актуальных проблем музыкальной медиевистики, связанная с нотолинейной реконструкцией древнерусских знаменных песнопений. Развиваемый авторами статьи компьютерно-ориентированный подход к её решению основан на использовании двознаменников конца XVII – начала XVIII веков. Акцент делается на выявлении внутригласовых инвариантов и квазиинвариантов знаменного распева, то есть цепочек знамен, характеризующихся наибольшей устойчивостью распева в пределах конкретного гласа. Основным достоинством подхода является его ориентация на беспометную нотацию.

На достаточно объёмном обучающем материале построены электронные словари *ВИ* и *КВИ* для всех 8 гласов знаменного распева, исследована зависимость их размеров и состава от объёма обучающей выборки. Предложен и реализован алгоритм оценивания покрываемости (фактически дешифруемости) песнопений цепочками знамен из построенных словарей. Эксперименты на независимом контрольном материале показали, что даже без привлечения дополнительной информации словари *ВИ* и *КВИ* в состоянии обеспечить в среднем 60–70%-ю дешифруемость по гласам. Детальный разбор ошибок говорит о том, что часть из них носит характер допустимой вариативности, а некоторые могут быть устранены с привлечением дополнительной информации о структурной организации знаменного распева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. О функциях указательных помет (на материале двознаменника XVIII века) // Сибирский музыкальный альманах. Новосибирск, 2002. С. 81–92.
2. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Факторы, влияющие на точность нотолинейной реконструкции пометных знаменных песнопений // Сибирский музыкальный альманах. Новосибирск, 2004. С. 51–59.
3. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Электронная азбука знаменного распева: предварительная версия // Анализ структурных закономерностей. Вычислительные системы. Новосибирск, 2005. № 174. С. 29–53.
4. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Компьютерный анализ и восстановление знаменной составляющей подборки В. М. Металлова // Сибирский музыкальный альманах. Новосибирск, 2010. С. 62–81.

5. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Компьютерный поиск инвариантных структурных единиц знаменного распева // Проблемы музыкальной науки. 2011. № 1 (8). С. 20–24.
6. Бахмутова И. В., Гусев В. Д., Титкова Т. Н. Выявление инвариантов и квазиинвариантов знаменного распева с помощью билингв типа 'знамя-нота' // ЗОНТ–2013: мат-лы Всерос. конф. Новосибирск, 2013. Т. 1. С. 27–35.
7. Бражников М. В. Древнерусская теория музыки. По рукописным материалам XV–XVIII веков. Л.: Музыка, 1972. 424 с.
8. Бражников М. В. Лица и фиты знаменного распева. Л.: Музыка, 1984. 302 с.
9. Кутузов Б. П. Русское знаменное пение. Изд. 2-е. М.: Андрей Рублев, 2008. 304 с.
10. Металлов В. М. Осмогласие знаменного распева (сборник нотолинейных попевок). М., 1899. 50 с.

REFERENCES

1. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Titkova T. N. O funktsiyakh ukazatel'nykh pomet (na materiale dvoznamennika XVIII veka) [On the Functions of the Indicative Marks (based on the Material of the Dvoeznamennik from the 18th Century)]. *Sibirskiy muzykal'nyy al'manakh* [The Siberian Music Almanac]. Novosibirsk, 2002, pp. 81–92.
2. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Titkova T. N. Faktory, vliyayushchie na tochnost' notolineynoy rekonstruktsii

- pometnykh znamennykh pesnopeniy [The Factors Influencing the Accuracy of the Reconstruction of Notation of the Russian Znamennyi Marked Hymnals]. *Sibirskiy muzykal'nyy al'manakh* [Siberian Music Almanac]. Novosibirsk, 2004, pp. 51–59.
3. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Titkova T. N. Elektronnyaya azbuka znamennogo raspeva: predvaritel'naya versiya [The Electronic Alphabet of the Znamenny Chant: Preliminary Version]. *Analiz strukturnykh zakonornostey. Vychislitel'nye*



sistemy [Analysis of Structural Regularities. Computative Systems]. Novosibirsk, 2005, No. 174, pp. 29–53.

4. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Titkova T. N. Komp'yuternyy analiz i vosstanovlenie znamennoy sostavlyayushchey podborki V. M. Metallova. [A Computer-Based Analysis and Neumatic Reconstruction of the Znamenny Components of Metallov's Set] *Sibirskiy muzykal'nyy al'manakh* [Siberian Music Almanac]. Novosibirsk, 2010, pp. 62–81.

5. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Titkova T. N. Komp'yuternyy poisk invariantnykh strukturnykh edinitz znamennoy raspava [A Computer-Based Search for the Invariant Structural Elements of the Znamenny Chant]. *Problemy muzykal'noy nauki* [Music Scholarship]. 2011, No. 1 (8), pp. 20–24.

6. Bakhmutova I. V., Gusev V. D., Titkova T. N. Vyyavlenie invariantov i kvaziinvariantov znamennoy raspava s pomoshch'yu bilingv tipa 'znamya-nota' [Disclosure of the Invariants and Quasi-Invariants of the Znamenny Chant by

Means of the "Neume-Note" Bilingual Dictionary]. *ZONT-2013: mat-ly Vseros. konf.* [ZONT-2013: Presentations from the Russian Conference]. Novosibirsk, 2013. Vol. 1, pp. 27–35.

7. Brazhnikov M. V. *Drevnerusskaya teoriya muzyki. Po rukopisnym materialam XV–XVIII vekov* [Early Russian Music Theory. Based on Manuscripts from the 15th–17th Centuries]. Leningrad: Muzyka Press, 1972. 424 p.

8. Brazhnikov M. V. *Litsa i fity znamennoy raspava* [The Litsa and Fitas of the Russian Znamenny Chant]. Leningrad: Muzyka Press, 1984. 302 p.

9. Kutuzov B. P. *Russkoe znamennoye penie* [The Russian Znamenny Chant Singing]. Second Edition. Moscow: Andrey Rublev, 2008. 304 p.

10. Metallov V. M. *Osmoglasie znamennoy raspava (sbornik notolinyeynykh popevok)* [The Osmoglasie of the Znamenny Chan (Set of Notated Popevkas)]. Moscow, 1899. 50 p.

Использование билингв «знамя – нота» для выявления инвариантных структурных единиц знаменного распева

Авторы развивают новый компьютерно-ориентированный подход к решению проблемы нотолинейной реконструкции (дешифровки) древнерусских знаменных песнопений. Он основан на выявлении в текстах двознаменников цепочек знамен, однозначно или с допустимыми отклонениями интерпретируемых в конкретном гласе. Разработан алгоритм выделения и использования таких цепочек для целей дешифровки. На объёмном обучающем материале построены в формате «знамя – нота» электронные словари инвариантов

и квазиинвариантов для всех 8 гласов двознаменного распева. Эксперименты на контрольном материале показали, что уже на данном этапе электронные словари в состоянии обеспечить в среднем 60–70%-ю дешифруемость по гласам. Основным достоинством подхода является его ориентация на общий случай беспометной нотации.

Ключевые слова: двознаменники, нотолинейная реконструкция, беспометная нотация, внутригласовые инварианты, электронный словарь знаменного распева

The Use of the Bilingual Set "Sign-Note" for Disclosing Invariant Structural Units of the Znamenny Chant

The authors develop a new computer-based approach towards solving the problem of staff-notation reconstruction (deciphering) of early Russian znamenny chants. It is based on disclosing in the texts of Dvoeznamenniks of chains of signs, univocal or with admissible deviations in interpretations in a concrete glas (chant). The algorithm of extraction and utilization of such chains for the aim of deciphering musical manuscripts is developed. On the basis of an extensive study material there are electronic dictionaries for invariants and quasi-invariants constructed in the format of

"znamya (sign) – note" for all 8 glasy of the dvoeznamenny chant. Experiments with the test materials have shown that already at the present stage electronic dictionaries are already capable of providing for an average of 60-70% of deciphering of the glasy. The main merit of this approach is its directedness towards the general case of non-pitch notation found in znamenny chant.

Keywords: Dvoeznamenniks, staff-notation reconstruction, non-pitch notation indication, inner-glas invariants, electronic dictionary of the znamenny chant

DOI: 10.17674/1997-0854.2015.2.19.005-011

Бахмутова Ирина Владимировна

научный сотрудник

E-mail: bakh@math.nsc.ru

Гусев Владимир Дмитриевич

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник

E-mail: gusev@math.nsc.ru

Титкова Татьяна Николаевна

кандидат технических наук, научный сотрудник

E-mail: titkova@math.nsc.ru

Irina V. Bakhmutova

Research assistant

E-mail: bakh@math.nsc.ru

Vladimir D. Gusev

Candidate of Technical Sciences,

Senior research assistant

E-mail: gusev@math.nsc.ru

Tatiana N. Titkova

Candidate of Technical Sciences, Research assistant

E-mail: titkova@math.nsc.ru

Институт математики им. С. Л. Соболева
Сибирского отделения Российской академии наук
Российская Федерация, 630090 Новосибирск

S. L. Sobolev Institute for Mathematics
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, 630090 Novosibirsk

