

Акустические характеристики согласных фонем сургутского диалекта хантыйского языка

Т. В. Тимкин

*Институт филологии СО РАН
Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Рассмотрены акустические характеристики согласных фонем сургутского диалекта хантыйского языка на основе полевых материалов из экспедиций в г. Когалым (2018), с. Угут (2019). Приведены данные, полученные от трех информантов – носителей тром-аганского, малоюганского и большеюганского говоров. Общий объем выборки составил более 6 тыс. отдельных произнесений согласных звуков. Данные получены с использованием методов осциллографии, спектрографии, анализа локусов формант и спектральных моментов. Анализ был выполнен при помощи программного обеспечения Praat и Etmu-SDMS. Осциллографический и спектрографический анализ показывает, что глухие щелевые фонемы могут озвончаться в интервокальной позиции, для сонантов характерно оглушение в конечной и преконсонантной позициях, при этом различные фонемы при оглушении могут иметь характер малозвонного или звонного согласного. Анализ спектральных моментов был проведен для щелевых, латерально-щелевых и смычно-щелевых фонем. По данным спектральных моментов выделяются четыре типа шума: высокочастотный низкодисперсный, характерный для фонемы /s/, среднечастотный низкодисперсный, характерный для фонем /ʃ/, /tʃ/, /ç/, низкочастотный среднечастотный для фонем /l/, /ʎ/, низкочастотный дисперсный для фонем /w/, /ɣ/. Анализ локусов формант показывает, что наименьшие значения локуса второй форманты характерны для губных и заднеязычных фонем, большие – для переднеязычных и наибольшие – для среднеязычных. При этом по акустическим данным устойчиво противопоставляются носовые /n/ – /ɲ/, тогда как для пар /l/ – /ʎ/, /tʃ/ – /ç/ противопоставление среднеязычной и переднеязычной артикуляций по акустическим данным прослеживается в речи не всех исследованных дикторов.

Ключевые слова

хантыйский язык, сургутский диалект, экспериментальная фонетика, консонантизм, локус форманты, спектральные моменты

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-012-00388 «Специфика звукового строя сургутского диалекта хантыйского языка»)

Для цитирования

Тимкин Т. В. Акустические характеристики согласных фонем сургутского диалекта хантыйского языка // Вестник НГУ. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2021. Т. 19, № 1. С. 106–116. DOI 10.25205/1818-7935-2021-19-1-106-116

Acoustic Features of the Surgut Khanty Consonants

Timofei V. Timkin

*Institute of Philology RAS
Novosibirsk, Russian Federation
Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

This paper deals with the acoustic features of the Surgut Khanty consonants. The research is based on the data gathered during fieldwork in Kogalym town (2018) and the Ugut village (2019). The audio samples are provided by three native speakers of the Tromjegan, Malyi Yugan, and Bolshoi Yugan idioms. The total size of the sample database numbers more than six thousand isolated consonant pronouncements. The data for the research was obtained using oscillographic and spectrographic methods, formant locus analysis, spectral moment analysis. The analysis was performed via Praat and Emu-SDMS software. Oscillography and spectrography methods reveal that voiceless fricative phonemes may be voiced in intervocalic distribution. It is common for the sonants to become devoiced in the final and preconsonantal positions. Moreover, due to devoicing, different phonemes may acquire low-obstruent and obstruent consonant features. For the fricative, lateral-fricative consonants, affricates spectral moment analysis has been carried out. The spectral moments technique gives an opportunity to represent complex noise data as a relatively small set of numbers that can be processed statistically. According to the data on spectral moments, four types of noise have been defined: high-frequency low-dispersion noise resembling /s/, medium-frequency low-dispersion noise resembling /ʃ/, /tʃ/, /ç/, low-frequency medium-dispersed noise for phonemes /h/, /ʁ/, low-frequency dispersed noise for phonemes /w/, /ɣ/. The formant analysis is used to estimate consonant resonant frequencies. As shown by the formant locus analysis, the smallest values of the second formant locus are associated with the labial and velar phonemes. Larger values are associated with the coronal phonemes. The largest ones are specific to the palatal phonemes. At the same time, the acoustic features make it possible to stably distinguish the nasal /n/ – /ɲ/, wherein the opposition of the mid-dle and front lingual articulations is observed only in some speakers' recordings for the pairs /h/ – /ʁ/, /tʃ/ – /ç/.

Keywords

Khanty language, Surgut dialect, experimental phonetics, consonant system, formant locus, spectral moments

Acknowledgements

The research is supported by Russian Foundation for Basic Research (project № 19-012-00388).

For citation

Timkin, Timofei V. Acoustic Features of the Surgut Khanty Consonants. *Vestnik NSU. Series: Linguistics and Intercultural Communication*, 2021, vol. 19, no. 1, p. 106–116. DOI 10.25205/1818-7935-2021-19-1-106-116

Введение

Консонантизм хантыйского языка описан Л. Верте [2003] на материале казымского диалекта с использованием методик рентгенографии и палатографии. Однако выводы, полученные на казымском материале, не могут быть перенесены на другие диалекты ввиду их значительных структурных различий. Так, сургутский диалект, распространенный на территории Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа, по-прежнему требует всестороннего изучения экспериментальными фонетическими методами.

Ранее мы исследовали сургутский консонантизм с использованием такого соматического метода, как электромагнитная артикулография [Тимкин, 2020]. Мы получили данные о профиле языка информанта в момент произнесения различных сургутских согласных. Однако расширение базы исследования требует привлечения также акустических данных, чтобы можно было рассматривать консонантизм на выборке из большего числа информантов.

Покажем систему согласных звуков сургутского диалекта хантыйского языка (табл. 1).

Согласные обозначаются знаками международного фонетического алфавита по акустическим данным. В скобках приводится традиционная запись в финно-угорской транскрипции (см. [Терешкин, 1981]).

Таблица 1

Согласные звуки сургутского диалекта хантыйского языка

Table 1

Surgut Khanty consonants

	Губно- губные	Передне- язычные	Средне- язычные	Задне- язычные	Задне- язычные огубленные
Взрывные	Р	t		k, q (k _ɛ)	k ^w (k̥)
Щелевые	w	sʃ (š)		ɣ	ɣ ^w (ɣ̥)
Смычно- щелевые		ts̥ (c)	ç̥ (t')		
Носовые	m	n	ɲ (n')	ŋ	(ŋ̥)
Дрожащие		r			
Боковые сонорные		l (l _ɛ)			
Боковые шумные		ɬ (ɬ)	ɬ̥ (ɬ')		

В традиции описания сургутского диалекта противопоставляются сонанты и глухие шумные согласные, при этом для глухих фонем описаны случаи позиционного озвончения [Чепреги, 2017].

Выделяются взрывные, фрикативные, смычно-щелевые, носовые, дрожащие, боковые шумные и боковые сонорные согласные. По месту образования противопоставляются губно-губные, переднеязычные, среднеязычные и заднеязычные согласные. Дискуссионным остается статус огубленных заднеязычных и увулярных, наличие которых требует дальнейшего изучения.

Особый статус имеет фонема /ʃ/, которая выделяется только в ряде лексем как вариант наряду с возможностью употребления /s/. Наличие этой фонемы ограничено территориально. (Например, тром-аганское *pīrəs* – юганское *pīrəš* ‘старый’).

Специфической особенностью сургутского диалекта является наличие шумных боковых фонем /ɬ/, /ɬ̥/, многообразие оттенков которых получило специальное описание в работе [Уртегешев, 2020]. Наличием шумных латералов /ɬ/, /ɬ̥/ характеризуются так называемые *ɬ*-говоры, тогда как в *t*-говорах им соответствуют /t/, /ç̥/. К *ɬ*-говорам относятся аганский, тром-аганский, пимской говоры Малого Югана и верховьев Большого Югана, тогда как малоюганский относится к *t*-говорам [Чепреги, 2017].

Целью данной работы является описание акустических признаков данных фонем для уточнения их характеристик и фонологического статуса.

Материалы и методы

Материалом работы послужили аудиозаписи, собранные во время полевых экспедиций в г. Когалым (2018) и с. Угут (2019). Всего проанализированы данные от семи информантов: одного с р. Пим, двух с р. Тромъеган, двух с р. Малый Юган и двух с р. Большой Юган. Числовые данные, приводимые в статье, получены по материалам от трех дикторов-женщин,

хорошо владеющих родным языком: тром-аганский, малоюганский и большеюганский говоры.

Данные, приводимые в статье, основаны на выборке, включающей более 6 тыс. отдельных произнесений согласных звуков.

Полевые записи аннотированы в программе Praat¹ и загружены в фонетическую корпусную систему Eml [Winkelmann et al., 2017]. Статистическая обработка и визуализация данных производилась при помощи языка программирования R.

При акустическом описании звуков речи основной методикой является спектральный анализ, выявляющий соотношение отдельных частотных компонентов сложных звуков. Визуальный анализ спектрограммы речи позволяет сегментировать речевой поток на отдельные звуки, выделять гласные и согласные, определять способ образования согласных.

Различные артикуляции по-разному обуславливают распределение энергии в спектре колебания. Для выявления этих особенностей используются различные методики численного анализа спектральных данных.

Так, для анализа гласных в экспериментальной фонетике хорошо зарекомендовал себя формантный анализ, основанный на выявлении формант – резонансных пиков передаточной функции речевого тракта, обусловленных артикуляцией.

Однако спектр согласных включает преимущественно шумовой компонент – непериодические колебания, которые не раскладываются на гармоники с кратными частотами. По этой причине выявить формантные частоты теми алгоритмами, которые используются для анализа гласных, невозможно.

Одним из возможных решений является методика локусов формант, которая позволяет оценивать качество согласного по его аккомодирующему влиянию на контактный гласный [Кодзасов, 2001. С. 170]. Известно, что на границе с согласным формантные частоты гласного изменяются под воздействием резонансных свойств согласного. По характеру изменения форманты соседнего гласного можно реконструировать резонансную частоту согласного, известную как локус форманты.

Для определения локуса форманты берется выборка гласных, находящихся в контактной позиции с исследуемым согласным. Желательно, чтобы в этой выборке были пропорционально представлены различные гласные тембры. Далее формантные частоты этих гласных измеряются в двух точках: посередине длительности и на границе с согласным.

Покажем на рис. 1 процесс вычисления локуса согласного на примере сургутской фонемы /р/.

Каждая точка на графике соответствует отдельному произнесению гласного после согласного /р/. Расположение точки по горизонтали соответствует частоте второй форманты, измеренной посередине длительности гласного. Расположение точки по вертикали соответствует частоте второй форманты, измеренной на границе с согласным. Как можно убедиться, на границе с согласным вторая форманта претерпевает понижение своего значения.

Далее при помощи статистического метода регрессионного анализа строится линия регрессии (черная прямая на графике), которая оптимальным образом описывает зависимость двух величин и характеризует аккомодирующее воздействие. Можно предположить, что согласный, локус форманты которого совпадает с формантой гласного, не вызовет аккомодирующего воздействия. Такой гласный лег бы на точку линии $x = y$, проведенную на графике пунктиром.

Локус форманты исследуемого согласного оказывается на пересечении сплошной и пунктирной линий на графике. В приведенном примере локус форманты согласного /р/ имеет частоту 600 Гц.

¹ Boersma P., Weenink D. Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 6.1.16, retrieved 6 June 2020 from <http://www.praat.org/>.

Для вычисления второго спектрального момента суммируются уже не отдельные частоты, а квадрат отклонения частоты от «центра тяжести». Таким образом, второй момент показывает, насколько плотно энергия сосредоточена в области «центра тяжести» спектра.

Аналогичным образом моменты более высокого порядка вычисляются при помощи возведения в третью и четвертую степень. Третий момент характеризует степень симметричности энергии спектра, распределенного вокруг «центра тяжести». Четвертый момент демонстрирует крутизну пика энергии в районе «центра тяжести».

Теоретически формула позволяет рассчитать моменты и более высоких порядков, однако четырех спектральных моментов достаточно для того, чтобы охарактеризовать согласный.

Метод спектральных моментов лишен недостатков метода локусов формант, но, к сожалению, применим лишь для звуков, имеющих выраженный шумовой компонент на протяжении достаточной длительности. На практике достаточно показательные результаты удалось получить только для глухих щелевых, латерально-щелевых и смычно-щелевых согласных.

В настоящей работе методики локусов формант и спектральных моментов были реализованы на языке программирования R с использованием пакета *emur*, входящего в состав фонетической корпусной системы *Emu-SDMS*. Для определения локуса форманты использовались данные постпозитивного гласного. Формантные частоты гласного измерялись на точках 0,5 и 0,1 относительной длительности.

Для подсчета спектральных моментов брался спектральный срез на точке 0,6 относительной длительности. При подсчете моментов учитывались значения в области до 15 000 Гц, релевантной для разграничения фонем.

Результаты

Анализ основного тона. Данные спектрографического и осциллографического анализа показывают, что глухие фонемы в произнесении сургутских хантов реализуются преимущественно в глухих оттенках. В интервокальном положении латералы /ʃ/, /ʎ/ могут приобретать частично озвонченный характер, который, однако, никогда не распространяется более чем на половину их длительности. Озвончение щелевого /s/ не зафиксировано.

У представителей всех ареалов отмечено вариативное конечное оглушение сонантов в конечной позиции и перед глухими согласными. Не подвергаются оглушению фонемы /r/, /l/. При оглушении носовых /n/, /m/ оглушенная часть имеет характер глухого малозвучного согласного. В грамматических окончаниях оглушение может охватывать всю длительность согласного.

При оглушении фонем /j/, /w/ сонорная часть артикуляции реализуется как неслоговой дифтонгоидный призвук при гласном, а оглушенная – как шумный щелевой соответствующего места образования.

В конечной позиции фонема /r/ может приобретать конечно оглушенный характер и иметь глухой ʃ-образный призвук.

Анализ спектральных моментов. Анализ спектральных моментов позволяет эффективно оценивать тембр согласных с выраженной шумовой составляющей. Данная методика позволила получить данные о щелевых, латерально-щелевых и смычно-щелевых согласных /s/, /ʃ/, /ʎ/, /ʂ/, /çç/, /tʃ/, /w/, /ɣ/. Наиболее показательными для различения тембров этих согласных являются значения первого и второго спектральных моментов.

Покажем на рис. 2 графики двух спектральных моментов в указанных фонемах по данным трех информантов. Каждая буква на графике обозначает отдельное произнесение соответствующей фонемы данным диктором. Положение точки по горизонтали обозначает первый момент, по вертикали – второй.

По данным спектрального анализа выделяются четыре типа шума.

Для фонемы /s/ характерен низкодисперсный высокочастотный шум, энергия которого сосредоточена в узкой полосе в районе 7,5–8,5 кГц.

Для фонем /ʃ/, /с̣с̣/, /т̣ʃ/ характерен низкодисперсный среднечастотный шум с диапазоном первого момента 7–7,5 кГц.

Для фонем /ʈ/, /ʂ/ характерен более дисперсный низкочастотный шум с диапазоном первого момента 6–7 кГц.

Для фонем /w/, /ɣ/ характерен дисперсный низкочастотный шум, энергия которого распределена в низкой части спектра.

Такое распределение спектральных характеристик соответствует известным законам акустики речи. Так, губные и заднеязычные преграды, закрывая ротовую полость с различных сторон, формируют длинный резонатор, порождающий дисперсный низкочастотный шум. Напротив, язычные артикуляции, преграждающие ротовую полость посередине, формируют короткий резонатор, дающий более дисперсный и высокочастотный шум.

Сосредоточенность шума в высокой части спектра для s-образных звуков также является ожидаемой. Это обусловлено тем, что поток воздуха при произнесении зубных согласных рассекается кромкой верхних резцов, и это создает дополнительный источник шума, помимо собственно щели. По этой причине различие в первом спектральном моменте является показательным для противопоставления свистящих и шипящих артикуляций.

В то же время специфические и типологически редкие сургутские латералы занимают особую область спектральных значений. Близкие по характеру шума к ʃ-образным, они, тем не менее, не реализуют характерного шипящего шума, а имеют уникальный спектральный профиль. У носителя t-диалекта, в речи которого фонемы /ʂ/, /ʈ/ не реализуются, область шипящих артикуляций охватывает более широкий диапазон спектральных значений и затрагивает зону, где у других носителей реализуются латералы.

Шумные среднеязычные согласные не имеют особой однозначно выделяемой области спектральных значений. Так, у тром-аганского диктора фонема /ʂ/ реализуется в той же области спектральных значений, что и /ʈ/. У тром-аганского и большеюганского дикторов фонема /с̣с̣/ реализуется в той же области, что и /т̣ʃ/. У малоюганского диктора /ʂ/ отличается несколько большим значением первого момента, чем /ʈ/, а /с̣с̣/ – большим значением первого момента по сравнению с /т̣ʃ/.

Это говорит о том, что характерные среднеязычные артикуляции отличаются от соответствующих переднеязычных резонансными свойствами, а не профилем шума. Соответствующие различия необходимо выявлять методом формантного анализа согласных.

Анализ локусов формант. Покажем значения локуса второй форманты, который является наиболее показательным для противопоставления согласных различного места образования (табл. 2).

В табл. 2 показаны значения для всех согласных фонем, кроме /ʃ/, /ɣ/, /ŋ/, которые не представлены в начальной позиции и по этой причине не имеют достаточного количества превокальных реализаций в выборке.

Значения локуса значительно различаются в зависимости от индивидуальных особенностей голоса информанта. Однако, если сравнить распределение значений у каждого отдельного диктора, мы получаем следующие результаты: наиболее низкие значения характерны для губных и заднеязычных фонем /w/, /p/, /k/, /m/; более высокие – для плавных /l/, /r/; еще более высокие – для зубных /ʈ/, /t/, /n/, /s/ и, наконец, наиболее высокие – для среднеязычных /ɲ/, /j/.

Таким образом, локус второй форманты помогает различить звуки различного места образования.

Рассмотрим локус второй форманты в контексте различения переднеязычных и среднеязычных фонем. У малоюганского диктора фонемы /ʈ/, /n/, /т̣ʃ/ реализуются в диапазоне значений, характерном для переднеязычных согласных, тогда как /ʂ/, /ɲ/, /с̣с̣/ имеют значения в высокочастотном диапазоне.

Таблица 2

Значения локуса второй форманты согласных фонем
по данным различных информантов

Table 2

F2 locus values according to the data of different speakers

Фонема	Говор		
	малоюганский	большуюганский	тром-аганский
w	490	160	465
k	615	910	1150
p	620	750	1655
l	850	1450	1695
m	1345	1080	1250
r	1525	1540	1540
n	1745	1640	2960
s	1750	1830	2125
tʃ	1975	1840	2380
ɬ	2180	–	1800
t	2220	2145	2500
ɲ	2400	2550	2840
сɕ	2480	1680	1680
ʎ	2765	–	1300
j	3125	2630	2590

Однако для других исследованных дикторов локус форманты однозначно противопоставляет только пару /п/ – /р/. У тром-аганского диктора /tʃ/ и /сɕ/ реализуются в высокочастотной области, характерной для среднеязычных фонем; фонемы /ʎ/, /ɬ/ – в области переднеязычных. У большуюганского информанта /tʃ/ и /сɕ/ реализуются в области значений переднеязычных согласных, а фонемы /ɬ/, /ʎ/ не представлены.

Таким образом, только для пары /п/ – /р/ противопоставление переднеязычных и среднеязычных артикуляций имеет устойчивый акустический коррелят. Для других среднеязычных фонем акустические данные значительно варьируют в зависимости от диктора, что может свидетельствовать о разрушении фонологической оппозиции.

Дискуссия

Для консонантной системы хантыйского языка характерно противопоставление глухих шумных и сонорных согласных, при этом выявлено позиционное оглушение и озвончение. Акустические данные подтверждают вариативность по звонкости в сургутском диалекте. Зафиксировано как озвончение глухих в интервокальной позиции, так и оглушение сонантов в конечной и преконсонантной позициях.

Специфический сургутский латерал /ɬ/ описывался как зубная фонема, однако в статье Н. С. Уртегешева [2020] по данным слухового анализа указывается альвеолярный характер ее реализаций. Это подтверждается нашими данными по результатам электромагнитной артикулографии. Акустический анализ показывает, что для этой фонемы характерен низкочастотный недисперсный шум, что действительно сближает ее с шипящими согласными. В то же время акустические данные показывают, что латерал имеет особый профиль шума с меньшим значением первого спектрального момента, чем это характерно для шипящих.

Традиционно описываемой типологической чертой сургутского консонантизма является наличие ряда среднеязычных согласных. Акустический анализ показывает, что среднеязычные имеют профиль шума, аналогичный соответствующим переднеязычным, но отличаются более высоким локусом второй форманты. При этом по значению локуса второй форманты устойчиво выделяется противопоставление носовых /n/ – /ɲ/. Две другие пары: /ʎ/ – /ʎ̥/ и /tʃ/ – /tʃ̥/ показывают в значительной степени противоречивые объективные данные, что может говорить о разрушении оппозиции переднеязычный – среднеязычный в идиомах носителей, но требует дальнейшего исследования.

Список литературы

- Верте Л. А. Консонантизм хантыйского языка (экспериментальное исследование). Новосибирск: Сибирский хронограф, 2003. 330 с.
- Кодзасов С. В., Кривнова О. Ф. Общая фонетика. М.: РГГУ, 2001. 593 с.
- Терешкин Н. И. Словарь восточнохантыйских диалектов. Л.: Наука, 1981. 544 с.
- Тимкин Т. В. Профили передней части языка в настройках согласных фонем сургутского диалекта хантыйского языка по данным электромагнитной артикулографии // Сибирский филологический журнал. 2020. № 3. С. 156–170.
- Уртегешев Н. С. Латеральнощелевые, обозначаемые графемами ɲ и ɲ̥, в сургутском диалекте хантыйского языка // Вестник угроведения. 2020. Т. 10, № 1. С. 100–109.
- Чепреги М. Сургутский диалект хантыйского языка. Ханты-Мансийск: Печатный мир, 2017. 275 с.
- Forrest, K., Weismer, G., Milenkovic, P., Dougall, R. N. Statistical analysis of word-initial voiceless obstruents: Preliminary data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1988, vol. 84, no. 115.
- Winkelmann, R., Harrington, J., Jänsch, K. EMU-SDMS: Advanced speech database management and analysis in R. *Computer Speech & Language*, 2017, vol. 45, p. 392–410.

References

- Chepregi, M. Surgutskiy dialekt khantyiskogo yazyka [Surgut Khanty languages]. Khanty-Mansiysk: Pechatnyy mir, 2017, 275 p. (in Russ.)
- Forrest, K., Weismer, G., Milenkovic, P., Dougall, R. N. Statistical analysis of word-initial voiceless obstruents: Preliminary data. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1988, vol. 84, no. 115.
- Kodzasov, S. V., Krivnova, O. F. General phonetics. Moscow, Russian State University for the Humanities, 2001, 593 p. (in Russ.)
- Tereshkin, N. I. East Khanty Dialects Dictionary. Leningrad, Nauka, 1981, 544 p. (in Russ.)
- Timkin, T. V. Shapes of the Coronal Section of the Tongue of the Consonant Phonemes in Surgut Khanty according to Electromagnetic Articulography Data. *Siberian Journal of Philology*, 2020, no. 3, p. 156–170. (in Russ.)
- Urtegeshev, N. S. Lateral Fricatives Marked with the ɲ and ɲ̥ Letters in Surgut Khanty. *Bulletin of Ugric Studies*, 2020, vol. 10, no. 1, p. 100–109. (in Russ.)
- Verte, L. A. Consonant System of Khanty language (an Experimental Study). Novosibirsk, Sibirsky khronograf, 2003, 330 p. (in Russ.)
- Winkelmann, R., Harrington, J., Jänsch, K. EMU-SDMS: Advanced speech database management and analysis in R. *Computer Speech & Language*, 2017, vol. 45, p. 392–410.

Материал поступил в редколлегию
Date of submission
02.01.2021

Сведения об авторе / Information about the Author

Тимкин Тимофей Владимирович, младший научный сотрудник, Институт филологии СО РАН (Новосибирск, Россия); преподаватель кафедры общего и русского языкознания Новосибирского государственного университета (Новосибирск, Россия)

Timofei V. Timkin, Junior Researcher, Institute of Philology SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation); Assistant Professor at the Department of General and Russian Linguistics, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

ttimkin@yandex.ru

ORCID 0000-0001-9001-4729