ГЕНЕТИКА, 2022, том 58, № 11, с. 1325–1333

ГЕНЕТИКА ЧЕЛОВЕКА

УДК 575.17:599.9

ЧАСТОТЫ ГАПЛОГРУПП Y-ХРОМОСОМЫ И ПРОЦЕССЫ МИГРАЦИИ В ТРЕХ ПОКОЛЕНИЯХ ЖИТЕЛЕЙ МОСКВЫ

© 2022 г. И. Г. Удина[1], *, А. С. Грачева[1], О. Л. Курбатова[1]

[1]*Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, 119991 Россия*

**e-mail: irina_udina@mail.ru*

Поступила в редакцию 06.05.2022 г.
После доработки 09.06.2022 г.
Принята к публикации 10.06.2022 г.

В трех выборках из населения Москвы, представляющих три условных поколения, проведено генотипирование по 18 STR Y-хромосомы и собраны генетико-демографические данные путем анкетирования. Сравнительный статистический анализ выявил характерные для каждого поколения спектры и профили частот гаплогрупп Y-хромосомы; продемонстрировал достоверные различия между двумя старшими поколениями и молодым поколением жителей Москвы, в частности по частоте гаплогруппы N. Показано статистически достоверное накопление в молодом поколении "южных по происхождению" гаплогрупп, привносимых с потоками мигрантов. Особенности распределения частот гаплогрупп Y-хромосомы в трех поколениях москвичей хорошо согласуются с параметрами миграционных потоков в Москву в последние десятилетия и с данными анкетирования о местах происхождения мигрантов и их этническом составе. Результаты исследования указывают на необходимость своевременного обновления и актуализации популяционных референтных баз данных для целей ДНК-идентификации в мегаполисах, а также на необходимость дополнения молекулярно-генетического анализа генетико-демографическими данными, полученными путем анкетирования.

Ключевые слова: Москва, популяция, генофонд, гаплогруппы Y-хромосомы, миграционные процессы, поколения.

DOI: 10.31857/S0016675822110121

Исследования по генетике человека начались в лаборатории популяционной генетики ИОГен РАН практически с момента ее основания. Сотрудники лаборатории под руководством и с участием ее заведующего – академика Юрия Петровича Алтухова разрабатывали проблемы стабилизирующего отбора, неспецифической биологической устойчивости организма человека к заболеваниям, космической генетики с использованием доступных в то время классических генетических маркеров (биохимических и иммуногенетических), а также антропометрических признаков. Начиная с 1980-х годов особое внимание уделялось демографической генетике. Основным объектом стало население Москвы – крупнейшего мегаполиса РФ. Были определены основные параметры миграции – основного фактора популяционной динамики городского населения – за полуторавековой период; показано, что при современных темпах миграционных процессов генофонд популяции практически полностью обновляется за 4–6 поколений (обзор, см. [1]).

В настоящем исследовании объединены два направления работы лаборатории – исследование генетических маркеров (теперь маркеров ДНК) и анализ генетико-демографических процессов. Ранее при изучении генетико-демографических процессов в мегаполисах показаны гендерные различия в количественных и качественных характеристиках миграционных потоков, включающие различия в интенсивности (коэффициенты миграции) и дальности (миграционное расстояние) миграции и этнорегионального состава мигрантов [2–5]. В последние десятилетия интенсифицировался приток в Москву мигрантов из республик Средней Азии, Закавказья и северокавказских республик в составе РФ [5], что приводит к увеличению генетического разнообразия популяции, в особенности ее молодого поколения. В этой связи особый интерес представляют однородительские молекулярно-генетические маркеры – гаплогруппы Y-хромосомы и мтДНК, которые маркируют миграционные потоки в мегаполис, соответственно, по мужской и женской линиям, и с помощью которых можно охарактеризовать приток в генофонд населения мегаполиса не характерных для коренного населения маркеров.

Учет генетико-демографических параметров миграции позволяет прогнозировать динамику частот однородительских маркеров в поколениях под действием миграции с учетом гендерных различий. Наличие динамики генофонда популяции в поколениях диктует необходимость постоянного обновления и актуализации популяционных/референтных баз данных по генетическим маркерам для целей ДНК-идентификации, включая однородительские маркеры.

Цель данного исследования – изучение профиля частот гаплогрупп Y-хромосомы в разных поколениях населения Москвы и влияния миграционных процессов на межпоколенные различия частот гаплогрупп.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучены выборки жителей Москвы из трех поколений. Выборка **АМ** собрана в 2001 г. и содержит данные о москвичах, средний год рождения которых – 1949 для мужчин и 1948 для женщин; выборка **БМ** содержит данные о новорожденных, родившихся в Москве в 2017–2018 гг.; выборка **ВМ** содержит данные о мужчинах в среднем 1985 года рождения. Можно считать, что эти три выборки характеризуют три условных поколения москвичей: “деды” (АМ), “родители” (ВМ) и “дети” (БМ).

Формирование выборок осуществляли посредством сбора образцов крови москвичей на базе медицинских учреждений г. Москвы и одновременного сбора анкет с генетико-демографическими данными (о месте проживания, годе рождения, месте рождения, этнической принадлежности жителя Москвы, включенного в выборку, а также его предков в двух предыдущих поколениях). От каждого анкетируемого получено информированное согласие на использование биологического образца и генетико-демографических данных в анонимном виде в популяционном исследовании. Для выборки БМ проведено анкетирование матерей. Генетико-демографические параметры в изученных выборках представлены в [5], а данные о молекулярных маркерах – аутосомных STR в выборке АМ, ранее представлены в [6, 7].

ДНК из образцов крови выделена стандартным методом с применением набора реактивов фирмы “Изоген” (Москва). Проведено генотипирование образцов ДНК по 18 STR Y-хромосомы на базе ООО “Гордиз” (Москва) с последующим определением принадлежности установленного генотипа к гаплогруппе Y-хромосомы с помощью Интернет-предиктора [8].

Статистический анализ проведен в программе “Statistica”, использованы также алгоритмы программы WinPepi [9], для надежности выводов при определении оценок вероятности использовали одновременно обе программы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение гаплогрупп

К гаплогруппам Y-хромосомы, выявленным во всех трех выборках жителей Москвы, следует отнести следующий спектр гаплогрупп: R1a, R1b, E1b1b, N, T, I1b и I2, а также J1 и J2. В целом выявленные частоты гаплогрупп в выборках жителей г. Москвы соответствуют частотам, характерным для русского населения [10]. В отношении спектра присутствующих гаплогрупп и их частотного профиля три изученные выборки различаются (табл. 1). Количество выявленных гаплогрупп варьирует от 12 в выборках АМ и ВМ до 26 в выборке БМ и составляет 28 гаплогрупп в суммарной выборке.

Превалирующей гаплогруппой в изученных выборках из населения Москвы является гаплогруппа R1a (с минимальной частотой 42.8% в выборке ВМ и максимальной – в выборке АМ – 52.1%), в суммарной выборке частота 45.6%. Частота гаплогруппы N варьирует от 7.3 в выборке БМ до 17.8% в выборке АМ, а в суммарной выборке составляет 9.1%. При сравнении частот гаплогруппы N в трех поколениях выявлена гетерогенность ($G = 8.0721$, $d.f. = 2$, $P < 0.025$). Различия между двумя старшими поколениями (АМ + ВМ) и самым молодым поколением (БМ) по частоте гаплогруппы N достоверны ($G = 7.2455$, $d.f. = 1$, $P < 0.01$; $P = 0.007$, OR = 2.22, CI95% = 1.20–4.07). Достоверны также и различия по частотам гаплогруппы N между самым старшим и самым младшим поколениями ($G = 6.9270$, $d.f. = 1$, $P < 0.01$). Частота гаплогруппы R1b варьирует от 4.1 в выборке АМ до 7.3% в выборке ВМ, а в суммарной выборке составляет 6.4%. Представленность гаплогруппы E1b1b в изученных выборках невелика: минимальная – 1.4% в выборке АМ и максимальная в выборке ВМ – 4.3%. Особенности распространения рассмотренных гаплогрупп в изученных выборках находятся в хорошем соответствии с ранее установленными географическими ареалами их распространения в Европейской части России (R1a, E1b1b1, R1b и N) [11].

Частота гаплогруппы I1 варьирует незначительно: от 5.5% в выборке АМ до 6.3% в выборке БМ, что вполне согласуется с географическими особенностями распространения этой гаплогруппы в Европе [12]. Гаплогруппа I2 представлена с минимальной частотой (8.2%) в выборке АМ и с максимальной частотой в выборке ВМ – (17.7%), в суммарной московской выборке ее частота составляет 11.4%; особенности представленности этой гаплогруппы также хорошо согласуются с географическими особенностями распространения в

Таблица 1. Распределение гаплогрупп Y-хромосомы в изученных выборках из населения г. Москвы

Гаплогруппа	АМ		ВМ		БМ		Москва суммарно	
	N	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*
C3*	0	0	0	0	7	0.018	7	0.012
E1b1b	1	0.014	2	0.021	17	0.043	20	0.035
G2a*	0	0	3	0.031	7	0.018	10	0.018
G2c*	0	0	0	0	1	0.003	1	0.002
H*	0	0	0	0	1	0.003	1	0.002
I1	4	0.055	6	0.063	21	0.053	31	0.054
I2a	0	0	0	0	1	0.003	1	0.002
I2a(×I2a1)	6	0.082	16	0.167	35	0.088	57	0.100
I2a1	0	0	0	0	2	0.005	2	0.004
I2b(×I2b1)	0	0	0	0	1	0.003	1	0.002
I2b1	0	0	1	0.010	3	0.008	4	0.007
J1*	1	0.014	1	0.010	16	0.040	18	0.032
J2a*	0	0	5	0.052	15	0.038	20	0.035
J2a1b*	2	0.027	0	0	3	0.008	5	0.009
J2ab1*	0	0	0	0	1	0.003	1	0.002
J2a1bh*	1	0.014	0	0	0	0	1	0.002
J2a4(×bh)*	0	0	0	0	3	0.008	3	0.005
J2b*	0	0	0	0	7	0.018	7	0.012
J2a1×J2a1-bh*	1	0.014	0	0	0	0	1	0.002
L*	0	0	0	0	2	0.005	2	0.004
N	13	0.178	12	0.125	29	0.073	54	0.095
R1a	38	0.521	41	0.427	181	0.453	260	0.457
R1b	3	0.041	7	0.073	26	0.065	36	0.063
R2*	0	0	0	0	4	0.010	4	0.007
T*	2	0.027	1	0.010	5	0.013	8	0.014
O2*	0	0	1	0.010	0	0	1	0.002
O3*	0	0	0	0	5	0.013	5	0.009
Q*	1	0.014	0	0	7	0.018	8	0.014
Всего	73	1	96	1	400	1	569	1

Примечание. * – “южные” по происхождению гаплогруппы; *N* – число, а *f* – численная доля гаплогруппы в выборке.

Европе [12]. Однако наблюдаемые различия по оценкам частоты этой гаплогруппы в трех выборках недостоверны. С тем, чтобы точнее охарактеризовать особенности распространения гаплогрупп I1 и I2, проведен анализ соотношения частот этих гаплогрупп в изученных выборках, по результатам которого можно предположить различия по соотношению рассматриваемых гаплогрупп в разных поколениях москвичей. В табл. 2 представлены особенности распространения гаплогрупп I1 и I2 в трех выборках из населения Москвы и в суммарной выборке. Во всех выборках превалирует гаплогруппа I2. Интересно, что в выборке АМ соотношение I2/I1 равно 1.5, а в выборках ВМ соотношение практически в два раза выше. Таким образом, продемонстрирована гетерогенность разных поколений мужского населения г. Москвы по встречаемости этих гаплогрупп.

Частота гаплогруппы J1 в московском населении довольно низкая и варьирует от 1% (ВМ) до 4% (БМ). В населении Москвы с относительно высокой частотой выявлена гаплогруппа J2, которая варьирует по частоте от от 5.2 в выборке ВМ до 7.3% в выборке БМ и составляет в суммарной выборке 6.7% (табл. 3). Аналогично проведенному анализу для гаплогрупп I1 и I2, проведен анализ соотношения частот гаплогрупп J1 и J2 в трех выборках, по результатам которого можно предположить различия по соотношению рассмотренных гаплогрупп в разных поколениях москви-

Таблица 2. Соотношение частот гаплогрупп I1 и I2 в изученных выборках из населения г. Москвы

Гаплогруппы	АМ $N = 73$		ВМ $N = 96$		БМ $N = 400$		Москва суммарно $N = 569$	
	N	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*
I1	4	0.055	6	0.063	21	0.053	31	0.054
I2	6	0.082	17	0.177	42	0.105	65	0.114
Всего	10	0.137	23	0.240	63	0.158	96	0.168
Соотношение гаплогрупп I1 и I2								
I1/I2	**0.667**		*0.353*		0.500		0.477	
I2/I1	*1.500*		**2.833**		2.000		2.097	

Примечание. Полужирным шрифтом выделены максимальные значения, курсивом – минимальные.

Таблица 3. Соотношение частот гаплогрупп J1 и J2 в изученных выборках из населения г. Москвы

Гаплогруппы	АМ *N*=73		ВМ *N*=96		БМ *N*=400		Москва суммарно *N*=569	
	N	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*
J1	1	0.014	1	0.010	16	0.040	18	0.032
J2	4	0.055	5	0.052	29	0.073	38	0.067
Всего	5	0.069	6	0.062	45	0.113	56	0.098
Соотношение гаплогрупп J1 и J2								
J1/J2	0.250		*0.200*		**0.552**		0.474	
J2/J1	4.000		**5.000**		*1.813*		2.111	

Примечание. Полужирным шрифтом выделены максимальные значения, курсивом – минимальные.

чей. Во всех выборках превалирует гаплогруппа J2. Суммарно группы J1 и J2 представлены в выборке БМ с самой высокой частотой – 11.3%, а в выборке ВМ с самой низкой частотой – 6.2%. Соотношение J2/J1 в разных поколениях различно, так, например, соотношение равно 4.0 в выборке АМ и 5.0 в выборке ВМ, а в выборке БМ – 1.81. Таким образом, продемонстрирована гетерогенность разных поколений мужского населения г. Москвы по встречаемости этих гаплогрупп. Однако непосредственное сравнение частот в разных выборках жителей Москвы не достигает порога достоверности. Следует отметить, что гаплогруппы J1 и J2 входят в группу "южных по происхождению" гаплогрупп, которые максимально представлены в самом молодом поколении. Географические особенности распространения гаплогрупп J1 и J2 представлены в [13].

Распределение крупных гаплогрупп

Для выявления различий частотных профилей гаплогрупп Y-хромосомы в трех выборках из мужского населения г. Москвы, относящихся к разным поколениям, проведен еще один вариант статистического анализа, для которого гаплогруппы были объединены в более крупные категории, а редкие гаплогруппы, представленные в суммарной выборке с частотой менее 2% каждая, объединены в класс "RH". Частоты по объединенным классам гаплогрупп в московских выборках представлены в табл. 4.

Сравнительный статистический анализ как для всех трех московских выборок ($G = 23.0686$, $d.f. = 16$, $P > 0.05$), так и для попарных сравнений выборок АМ с БМ ($G = 13.5414$, $d.f. = 8$, $P > 0.05$), АМ с ВМ ($G = 5.8370$, $d.f. = 8$, $P > 0.05$) и БМ с ВМ ($G = 9.9176$, $d.f. = 8$, $P > 0.05$) не выявил достоверно значимых различий. Возможно, что при увеличении размеров выборок различия между выборками АМ и БМ достигнут первого порога достоверности. Однако сравнение двух объединенных старших выборок, между которыми не было достоверных различий по профилю частот рассматриваемых гаплогрупп, с самым молодым поколением выявило достоверные различия между ними ($G = 18.0593$, $d.f. = 8$, $P < 0.025$). Следовательно, помимо установленных достоверных различий между старшим и младшим поколениями по присутствию гаплогруппы N, а также гаплогрупп "юж-

Таблица 4. Распределение крупных гаплогрупп Y-хромосомы в изученных выборках из населения г. Москвы

Гаплогруппа	АМ		ВМ		БМ		Москва суммарно	
	N	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*	*N*	*f*
E1b1b	1	0.014	2	0.021	17	0.043	20	0.035
I1	4	0.055	6	0.063	21	0.052	31	0.054
I2	6	0.082	17	0.177	42	0.104	65	0.114
J1	1	0.014	1	0.010	16	0.040	18	0.032
J2	4	0.055	5	0.052	29	0.073	38	0.067
N	13	0.178	12	0.125	29	0.073	54	0.095
R1a	38	0.520	41	0.427	181	0.452	260	0.457
R1b	3	0.041	7	0.073	26	0.065	36	0.063
RH*	3	0.041	5	0.052	39	0.098	47	0.083
Всего	73	1	96	1	400	1	569	1

Примечание. * RH – объединенная группа редких гаплогрупп, частота каждой из которых в суммарной выборке менее 2%. Другие обозначения см. табл. 1.

ных по происхождению" выявлены достоверные различия по профилю частот крупных гаплогрупп между поколениями москвичей.

Особенности распределения "южных по происхождению" гаплогрупп

Частоты "южных по происхождению" гаплогрупп (C3, G2a, G2c, H, J1, J2, L, O2, O3, Q, R2 и T) в трех выборках из населения Москвы и в суммарной выборке представлены на рис. 1. Все перечисленные гаплогруппы возникли и имеют области максимального распространения значительно южнее географического положения Москвы [13–22]. Гаплогруппа E1b1b1 имеет ближневосточное происхождение, но в связи с высокой ее представленностью в Западной Европе и возможным путем ее проникновения в генофонд мегаполиса, в том числе и с запада, эта гаплогруппа не включена в группу "южных по происхождению" гаплогрупп [11, 13].

Присутствие в генофонде "южных по происхождению" гаплогрупп для разных поколений москвичей различно. Так, например, в выборках АМ их доля составляет примерно 11%, а максимальная доля выявлена в выборке новорожденных – 21.0%. В суммарной выборке из населения Москвы доля "южных по происхождению" гаплогрупп составляет 18.1%. Тест на гетерогенность оценок частоты "южных по происхождению" гаплогрупп выявил достоверные различия трех выборок: $G = 8.1226$, $d.f. = 1$, $P < 0.005$. Сравнение самого старшего поколения с младшим показало достоверные различия по G-критерию: $G = 4.3955$,

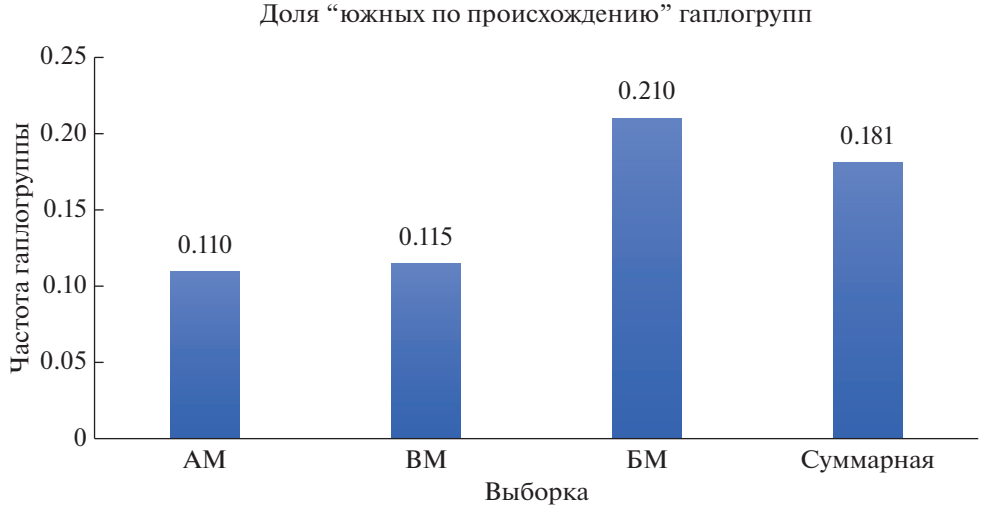

Рис. 1. Доля "южных по происхождению" гаплогрупп Y-хромосомы в изученных выборках из населения г. Москвы.

d.f. = 1, $P < 0.05$. Сравнение условно среднего поколения с младшим выявило достоверные различия по присутствию рассматриваемой категории гаплогрупп: $G = 4.9649$, *d.f.* = 1, $P < 0.05$. Сравнение самого старшего поколения с условно средним не выявило достоверных различий: $G = 0.010$, *d.f.* = 1, $P > 0.05$. В этой связи, в новом варианте статистического анализа оба старших поколения были объединены для анализа частот "южных по происхождению" гаплогрупп в изученных выборках (при сравнении с младшим поколением): $G = 9.6243$, *d.f.* = 1, $P < 0.005$.

Таким образом, очевидна гетерогенность поколений москвичей в отношении разнообразия гаплогрупп Y-хромосомы, прослежена динамика накопления в молодом поколении "южных по происхождению" гаплогрупп (C3, G2a, G2c, H, J1, J2, L, O2, O3, Q, R2 и T).

Остановимся на присутствии некоторых гаплогрупп в географических регионах, которые служат источником миграции. Так, например, в большинстве этнических групп Северного Кавказа присутствует от 20 до 40% каждой из гаплогрупп – G2a или J1. В Закавказье (Грузия, Армения, Азербайджан) гаплогруппа J2a является одной из основных, но там также высоки частоты гаплогрупп J1 и G2a. Гаплогруппа J2a также достигает высоких частот в Анатолии, в Чечне и Ингушетии.

Рассмотрим также гаплогруппу T, которую в анализе также рассматриваем как "южную по происхождению" гаплогруппу Y-хромосомы. Гаплогруппа T является редкой гаплогруппой в Европе. Она составляет 1% в населении большей части континента, за исключением Греции, Македонии и Италии, где ее частота превышает 4%, а в Иберии она составляет 2.5%, достигнув 10% в Кадисе и более 15% на Ибице. Максимальная частота по всему миру гаплогруппы T наблюдается в Восточной Африке (Эритрея, Эфиопия, Сомали, Кения, Танзания), на Ближнем Востоке (в Южном Ираке, Юго-Западном Иране, Омане и в Южном Египте) и на Кавказе, где на ее долю приходится примерно от 5 до 15% мужских линий [13–16].

Гаплогруппа L также из гаплогрупп "южных по происхождению" имеет области максимального распространения в Южной Азии (11.2%), Индии (может достигать в отдельных племенах 68%), Пакистане (11.6%), и Афганистане (9.5%). Известно, что у народов, которые проживают в Средней Азии, широко распространена рассматриваемая гаплогруппа: у таджиков (Таджикистан) гаплогруппа выявлена у 7.7%, у узбеков – 5–9.5% (Узбекистан, Афганистан), уйгуров – (Киргизия) (16.7%) у киргизов – (5.2%). Чрезвычайно высока представленность этой гаплогруппы у лазов (Грузия) (41%), у грузин (достигает в отдельных районах 21%), а также у отдельных народов Дагестана (до 11.7% у татов), широко распространена у чеченцев и ингушей (до 7%) [20].

Гаплогруппа H, выявленная в генофонде населения мегаполиса, широко представлена у цыган в Индии (до 60%), в Индии частота достигает 35%, у калашей (Пакистан) (20.5%), у таджиков (Душанбе) (12.5%), курдов из Туркмении (6%). Очевидно, что гаплогруппы G2a, J1, J2, L и T могут быть привнесены в генофонд мегаполиса с миграцией мужского населения из южных регионов РФ, в первую очередь из Северо-Кавказского и Южного Федеральных округов, а также из сопредельных стран. Гаплогруппы L, J2, H, а также O (с чрезвычайно широким распространением в Восточной и Юго-Восточной Азии с частотой 60–100%) могут попадать в генофонд населения Москвы с потоками мигрантов из Средней Азии, интенсивность которых возросла за последние десятилетия [5, 13, 19–21].

При сохранении данной тенденции в миграции мужского населения в мегаполис следует ожидать увеличения доли "южных по происхождению" гаплогрупп Y-хромосомы в мужском населении г. Москвы и постепенного замещения характерных для основного населения мегаполиса гаплогрупп. Очевидно, что в основном эта тенденция затронет две наиболее распространенные в изученных выборках мегаполиса гаплогруппы – N и R1a. В отношение гаплогруппы N действительно установлено достоверное снижение ее присутствия в генофонде мегаполиса (см. выше).

Рассмотрим для примера гаплогруппу G2a, также вошедшую в группу "южных по происхождению" гаплогрупп Y-хромосомы. Гаплогруппа G2 распространена у сванов (92%), осетин (62%), мегрелов (до 75%), абхазов (48%), адыгов (46%), грузин (40%), в Карачаево-Черкессии и Кабардино-Балкарии (до 40%). В изученном массиве данных эта гаплогруппа в Москве обнаружена у десяти жителей. Гаплогруппа G2a проникает в генофонд населения мегаполиса, вероятнее всего, с потоками мигрантов с Кавказа, где она широко распространена [13–15]. В табл. 5 представлены данные о выявленных случаях присутствия в генофонде населения мегаполиса этой гаплогруппы. С помощью специального интернет-предиктора на основании данных генотипирования по 18 STR Y-хромосомы определены субклады гаплогруппы G2a в наших выборках [13]. Установлено присутствие трех субклад гаплогруппы Y-хромосомы G2a: G2a-P16 (G2a1a), G2a-M406 (G2a2b1) и G2a-L497 (G2a2b2a1b). В самом старшем поколении рассматриваемая гаплогруппа не выявлена. Таким образом, гаплогруппа G2a, равно как и другие "южные по происхождению" гаплогруппы (C3, G2c, J1, J2, L, O2, O3, Q, R2 и T), могут быть определены как значимые для ДНК-идентификации

Таблица 5. Распределение подвариантов (субклад) и ветвей гаплогруппы G2a в изученных выборках из населения г. Москвы

Подвариант (субклада) гаплогруппы G2a*	Суммарная выборка***		Выборка ВМ		Выборка БМ	
	N	%	*N*	%	*N*	%
G2a-P16 (G2a1a)**	3	30	1	33.3	2	28.5
G2a-M406 (G2a2b1)	5	50	2	66.7	3	43.0
G2a-L497(G2a2b2a1b)	2	20	–	–	2	28.5
Всего	10	100	3	100	7	100

Примечание. * – подвариант (субклада) гаплогруппы G2a определен(а) с помощью интернет-предиктора гаплогрупп Y-хромосомы [8]. ** – указано обозначение ветви гаплогруппы G2a в соответствии с деревом ветвей гаплогруппы Y-хромосомы G2 [13]. *** – в выборке АМ гаплогруппа G2a не обнаружена.

маркеры, с помощью которых можно устанавливать происхождение их носителей в мегаполисах.

Из процитированных выше материалов, иллюстрирующих особенности географического распространения "южных по происхождению" гаплогрупп (C3, G2c, J1, J2, L, O2, O3, Q, и T), очевидно, что гаплогруппы проникают в генофонд мегаполиса с потоками мигрантов из южных регионов, что подтверждается данными анкетирования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование позволило установить характерные спектры и профили частот гаплогрупп Y-хромосомы в выборках жителей Москвы из разных поколений и продемонстрировало гетерогенность выборок в отношении разнообразия гаплогрупп. Показано увеличение доли "южных по происхождению" гаплогрупп (C3, G2a, G2c, H, J1, J2, L, O2, O3, Q, R2 и T), ранее не характерных для мегаполиса, в молодом поколении. Выявлено снижение частоты гаплогруппы N в молодом поколении жителей мегаполиса.

Различия генетической структуры трех разновозрастных выборок мужского населения Москвы по частотам гаплогрупп Y-хромосомы находятся в хорошем соответствии с данными о миграционных потоках в столицу [1, 5], а также с данными о местах происхождения жителей Москвы и об этническом составе выборок, полученных путем анкетирования [5].

Доля русских в старшей выборке составляет 85, в младшей – 73%. Этнический состав "младшей" выборки наиболее разнообразен (27 национальностей); в "старшей" выборке – 14. Помимо русских, в "младшую" выборку входят (по убыванию численности): киргизы, дагестанцы, армяне, таджики, татары, украинцы, узбеки, чеченцы, азербайджанцы, евреи, белорусы, чуваши, осетины, молдаване, корейцы, казахи, ингуши, гагаузы, кабардинцы, калмыки, якуты, монголы, сирийцы, турки, туркмены, египтяне.

В "старшей" выборке 3/4 москвичей родилось в Центральном Федеральном округе, в том числе чуть больше половины – в самой столице. В "младшей" выборке распределение по местам рождения совсем иное – в ЦФО родилось чуть больше половины анкетируемых, в самой Москве – одна треть, много уроженцев Южного и Северо-Кавказского Федеральных округов и стран "ближнего зарубежья" – Киргизии, Украины, Узбекистана, Таджикистана, Армении (страны перечислены в порядке убывания числа мигрантов из них в Москву).

Данные о параметрах миграции позволяют прогнозировать временную динамику частот гаплогрупп в населении мегаполиса под воздействием миграционных процессов, способствующих быстрому обновлению генофонда популяции в поколениях. При этом необходимо учитывать гендерные различия миграционных потоков – для анализа динамики частот маркеров Y-хромосомы необходимо использовать данные об интенсивности мужской миграции и этническом составе мужчин-мигрантов.

Полученные результаты указывают на важность учета возрастного фактора при создании популяционных референтных баз данных для ДНК-идентификации личности в мегаполисах, а также на необходимость постоянного обновления и актуализации таких баз данных и сбора генетико-демографических данных параллельно со сбором биологических образцов с целью изучения генетических маркеров [23].

Авторы благодарят москвичей, принявших участие в анкетировании и предоставивших свои биологические образцы, а также руководство медицинских учреждений Москвы, на базе которых был проведен сбор материала, за ценное сотрудничество.

Исследование проведено в рамках реализации Научно-технической программы Союзного государства "Разработка инновационных геногеографических и геномных технологий идентификации личности и индивидуальных особенностей челове-

ка на основе изучения генофондов регионов Союзного государства" ("ДНК-идентификация", мероприятие 10).

Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам институционального и/или национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики.

Исследование одобрено Этическим комитетом ИОГен РАН. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие (в выборке новорожденных согласие было получено от их матерей). Демографические данные, полученные в результате анкетирования, и результаты исследования представлены и хранятся в анонимной (обезличенной) форме.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Курбатова О.Л., Янковский Н.К.* Миграция – основной фактор популяционной динамики городского населения России // Генетика. 2016. Т. 52. № 7. С. 831–851. https://doi.org/10.7868/S0016675816070067
2. *Курбатова О.Л., Победоносцева Е.Ю., Веремейчик В.М. и др.* Особенности генетико-демографических процессов в населении трех мегаполисов в связи с проблемой создания генетических баз данных // Генетика. 2013. Т. 49. № 4. С. 513–522. https://doi.org/10.7868/S0016675813040085
3. *Курбатова О.Л., Удина И.Г., Грачева А.С. и др.* Генетико-демографические параметры населения г. Новосибирска // Генетика. 2018. Т. 54. Приложение. С. S74–S84. https://doi.org/10.1134/S0016675818130106
4. *Курбатова О.Л., Удина И.Г., Грачева А.С. и др.* Генетико-демографические параметры населения г. Санкт-Петербурга. Миграционные процессы // Генетика. 2019. Т. 55. № 9. С. 1071–1082. https://doi.org/10.1134/S001667581909008X
5. *Курбатова О.Л., Грачева А.С., Победоносцева Е.Ю., Удина И.Г.* Генетико-демографические параметры населения г. Москвы. Миграционные процессы // Генетика. 2021. Т. 57. № 12. С. 1438–1449. https://doi.org/10.31857/S0016675821120080
6. *Zhivotovsky L.A., Veremeichyk V.M., Mikulich A.I. et al.* Population survey on the distribution of STR frequencies in Belarus // Forensic Sci. Int. 2007. V. 172(2–3). P. 156–160.
7. *Zhivotovsky L.A., Veremeichyk V.M., Kuzub N.N. et al.* A reference data base on STR allele frequencies in the Belarus population developed from paternity cases // Forensic Sci. Int. Genet. 2009. V. 3(3). P. e107–e109.
8. Whit Athey's Haplogroup Predictor [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hprg.com/hapest6/hapest6G2a/hapest6.htm?order=orig, свободный. Загл. с экрана.
9. "Winpepi", компьютерная программа. J.H. Abramson, August 16, 2016. Version 11.65.
10. *Балановская Е.В., Балановский О.П.* Русский генофонд на русской равнине. М.: ООО "Луч", 2007. 416 с.
11. Карта географического распространения гаплогрупп Y-хромосомы на территории Евразии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pp.vk.me/bu05HtNeinmUcGTLgwGE0Asv1Z0XawlcEtYHg/nIBfaaxxKUQ.jpg, свободный. Загл. с экрана.
12. Гаплогруппы коренных древних европейцев, гаплогруппа I, I1 и I2 у народов Европы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://haplogroup.narod.ru/ineurope.html, свободный. Загл. с экрана.
13. Ближневосточные гаплогруппы J1, J2, E1b1b1, G2a, T и др. Описание и связь с археологическими культурами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://haplogroup.narod.ru/eur_hap2.html, свободный. Загл. с экрана.
14. Гаплогруппа J2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru-wiki.ru/wiki/Гаплогруппа_J2, свободный. Загл. с экрана.
15. Гаплогруппа J1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гаплогруппа_J1_(Y-ДНК), свободный. Загл. с экрана.
16. Гаплогруппа G (Y-ДНК). Материал из Википедии – свободной энциклопедии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гаплогруппа_G_(Y-ДНК), свободный. Загл. с экрана.
17. Гаплогруппа C* (xC3) (rps 4 y (m 130)). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://user-docs.ru/kultura/11205/index.html, свободный. Загл. с экрана.
18. Гаплогруппа G. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://haplogroup.narod.ru/hapg.html, свободный. Загл. с экрана.
19. Гаплогруппа H (Y-ДНК). [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://wikiredia.ru/wiki/Гаплогруппа H, свободный. Загл. с экрана.
20. Гаплогруппа L (Y-ДНК). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гаплогруппа_L_(Y-ДНК), свободный. Загл. с экрана.
21. Гаплогруппа O (Y-ДНК). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гаплогруппа_O_(Y-ДНК)#/, свободный. Загл. с экрана.
22. Гаплогруппа Q (Y-ДНК). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://encyclopaedia.bid/википедия/Гаплогруппа_Q_(Y-ДНК), свободный. Загл. с экрана.
23. *Цыбовский И.С., Веремейчик В.М., Котова С.А. и др.* Создание судебной референтной базы данных по 18 аутосомным STR для ДНК-идентификации в Республике Беларусь // Генетика. 2017. № 2. С. 249–258. https://doi.org/10.7868/S0016675817020138

Frequencies of Y-Chromosome Haplogroups and Migration Processes in Three Generations of Moscow Residents

I. G. Udina[a], *, A. S. Gracheva[a], and O. L. Kurbatova[a]

[a] *Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: irina_udina@mail.ru*

In three samples from the Moscow population, representing three conditional generations, genotyping was carried out for 18 STR of the Y-chromosome and data on genetic demography were collected by means of a questionnaire. Comparative statistical analysis revealed spectra and frequency profiles of Y-chromosome haplogroups characteristic for each generation; demonstrated significant differences between the two older generations and the younger generation of Moscow residents, in particular, in the frequency of haplogroup N. Statistically significant accumulation in the young generation of haplogroups of "southern origin" brought with the flows of migrants is shown. Features of the Y-chromosome haplogroup frequency distribution in three generations of Muscovites are in good agreement with the parameters of migration flows to Moscow in recent decades and with survey data on the places of origin of migrants and their ethnic composition. The results of the study indicate the need for timely updating and actualization of population reference databases for the purposes of DNA-based identification in megacities, as well as the need to supplement molecular genetic analysis with data on genetic demography obtained by questioning.

Keywords: Moscow, population, gene pool, Y-chromosome haplogroups, migration processes, generations.