

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018

УДК 616-036.22-084:615.371:614.47

Платонова Т.А.^{1,2}, Голубкова А.А.^{1,3}, Обабков В.Н.^{4,5}, Колесникова С.Ю.⁵, Смирнова С.С.^{1,3}

МНОГОФАКТОРНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГНОЗЕ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ КОРЬЮ НА БЛИЖАЙШУЮ И ОТДАЛЕННУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 620028, г. Екатеринбург, Россия, ул. Репина, д. 3;

²Общество с ограниченной ответственностью «Европейский медицинский центр «УГМК-Здоровье», 620144, г. Екатеринбург, Россия, ул. Шейнкмана, д. 113;

³Федеральное бюджетное учреждение науки «Екатеринбургский научно-исследовательский институт вирусных инфекций» Роспотребнадзора, 620030, г. Екатеринбург, Россия, ул. Летняя, д. 23;

⁴Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, Россия, ул. Мира, д. 19;

⁵Общество с ограниченной ответственностью «Европейско-Азиатская медицинская компания», 620049, г. Екатеринбург, Россия, пер. Автоматики, д. 1

Повсеместный рост заболеваемости и регистрация в последние годы крупных вспышек кори требуют разработки новых технологий контроля этой инфекции, основанных на прогнозе заболеваемости. Цель исследования - на основании имитационной математической модели эпидемического процесса кори дать прогноз развития ситуации на ближайшую и отдаленную перспективу для определения адекватных данной ситуации технологий контроля инфекции в мегаполисе на этапе ее элиминации. Материалы и методы. Имитационная модель прогноза заболеваемости корью была разработана с использованием специального программного обеспечения AnyLogic Professional 7.0 и включала основные детерминанты эпидемического процесса, установленные по результатам собственных исследований и данной литературы. Результаты моделирования эпидемического процесса были выгружены в базу данных, дальнейшая работа проводилась в системе управления базами данных Microsoft SQL Server Management Studio. Анализ и графическая обработка полученных результатов выполнены с применением комплексного программного обеспечения для бизнес-аналитики Power BI. Результаты. Установлено, что при низком (50-60%) охвате прививками детей в декретированных возрастах и населения в целом, велика вероятность вспышек кори как в ближайшей, так и в отдаленной перспективе. Повышение охвата прививками до 90-95% приводит к увеличению периода эпидемического благополучия, однако вероятность возникновения вспышек заболеваемости по-прежнему сохраняется. При ревакцинации каждые 10 лет не менее 60% населения ситуация остается стабильной в течение 30 лет и распространения инфекции не происходит. При охвате ревакцинирующими прививками 80% населения - эпидемиологическая ситуация сохраняется стабильной на протяжении 50 лет. Заключение. Имитационная модель прогноза заболеваемости корью на ближайшую и отдаленную перспективу, построенная с учетом основных детерминант эпидемического процесса, позволяет дать прогноз развития эпидемической ситуации на территории крупного промышленного города и определить приоритетные направления для элиминации коревой инфекции, а именно: жесткий контроль своевременности и полноты охвата прививками детей в декретированных возрастах (не менее 95%) и поддержание высокой иммунной прослойки населения в целом, что может быть обеспечено при проведении плановой ревакцинации против кори каждые 10 лет.

Ключевые слова: корь, имитационная математическая модель, прогноз.

Для цитирования: Платонова Т.А., Голубкова А.А., Обабков В.Н., Колесникова С.Ю., Смирнова С.С. Многофакторное имитационное моделирование в прогнозе заболеваемости корью на ближайшую и отдаленную перспективу.

Эпидемиология и инфекционные болезни. 2018; 23(5): 225-233.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1560-9529-2018-23-5-225-233>.

Platonova T.A.^{1,2}, Golubkova A.A.^{1,3}, Obabkov V.N.^{4,5}, Kolesnikova S.Yu.⁵, Smirnova S.S.^{1,3}

MULTI-FACTOR SIMULATION MODELING IN THE SHORT-AND LONG-TERM PROGNOSIS OF MEASLES INCIDENCE

¹Federal State Educational Institution of Higher Education «Ural State Medical University» of the Ministry of Health of Russia, Ekaterinburg, Repina 3, 620028, Russia;

²Limited liability company «European medical centre «UMMC-Health», Sheinkmana 113, 620144, Ekaterinburg, Russia;

³Federal budget institution of science «Ekaterinburg research institute of viral infections» the federal service for supervision of consumer rights protection and human welfare, Letnyaya 23, Ekaterinburg, 620030, Russia;

⁴Federal state Autonomous educational institution of higher professional education «Ural Federal University named after first President of Russia B. N. Yeltsin», Mira 19, 620002, Ekaterinburg, Russia;

⁵Limited liability company «European-Asian medical company», Avtomatiki 1, Ekaterinburg, 620049, Russia

Для корреспонденции: Платонова Татьяна Александровна, аспирант каф. эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, врач-эпидемиолог ООО «УГМК-Здоровье», E-mail: fill.1990@inbox.ru

The widespread increase in morbidity and the registration of major measles outbreaks in recent years require the development of new technologies to control the infection. Technologies should be based on the prognosis of morbidity. **The aim of the study** was to predict the development of the situation in the near and long term in order to determine the adequate technologies of infection control in the metropolis at the stage of its elimination on the basis of a mathematical simulation of the epidemic process of measles. **Materials and methods.** A simulation model to forecast the incidence of measles was developed using special software AnyLogic Professional 7.0. The model included the main determinants of the epidemic process, established by the results of their own research and literature data. The results of the epidemic process modeling were uploaded to the database. Further work was carried out in the database management system Microsoft SQL Server Management Studio. Analysis and graphical processing of the results are performed using comprehensive software for business intelligence Power BI. **Results.** It is established that at low (50-60%) coverage of vaccinations of children in the decreed ages and the population as a whole, the probability of measles outbreaks is high both in the short and long term. The increase in vaccination coverage to 90-95% leads to an increase in the period of epidemic well-being, but the likelihood of an outbreak remains. With revaccination every 10 years, at least 60% of the population remains stable for 30 years and the spread of infection does not occur. With the coverage of revaccinating vaccinations 80% of the population-the epidemiological situation remains stable for 50 years.

Conclusion. The simulation model of measles morbidity forecast for the near and long term, built with the main determinants of the epidemic process, allows us to predict the development of the epidemic situation in the territory of a large industrial city. Also, the model allows to determine the priority areas for the elimination of measles infection, namely: strict control of the timeliness and completeness of vaccination coverage of children in the decreed age (at least 95%) and maintaining a high immune layer of the population as a whole, which can be provided during the planned revaccination against measles every 10 years.

Key words: measles, simulation, mathematical model, prediction.

For citation: Platonova T.A., Golubkova A.A., Obabkov V.N., Kolesnikova S.Yu., Smirnova S.S. Multi-factor simulation modeling in the short-and long-term prognosis of measles incidence. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni. (Epidemiology and Infectious Diseases, Russian Journal)*. 2018; 23(5):225-233. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1560-9529-2018-23-5-225-233>.

For correspondence: *Tatyana A. Platonova*, post-graduate student of the Department of epidemiology of Federal State Educational Institution of Higher Education "Ural State Medical University" of the Ministry of Health of Russia, epidemiologist of Limited liability company «European medical centre «UMMC-Health», E-mail: fill.1990@inbox.ru

Information about authors:

Platonova T.A., <http://orcid.org/0000-0001-5441-854X>,

Golubkova A.A., <http://orcid.org/0000-0003-4812-2165>,

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

Funding. The study had no sponsorship.

Received 19.11.2018

Accepted 22.11.2018

Введение

Благодаря введению в 1967 г. плановой вакцинации против кори, были достигнуты значительные успехи в контроле этой инфекции: снижение до спорадической заболеваемости во всех возрастных группах, изменения в годовой и внутригодовой ее динамике, снижение пораженности детских учреждений и очаговости, что позволило поставить задачу ликвидации кори в стране [1-3].

Однако в последние годы, в условиях продолжающейся плановой вакцинации, наблюдается повсеместный рост заболеваемости корью и локальные вспышки этой инфекции, с вовлечением в эпидемический процесс в том числе и вакцинированных против кори детей и взрослых [4-13].

Сложившаяся ситуация требует ответа на вопрос о причинах изменения эпидемической ситуации и, вероятно, поиска новых, основанных на прогнозе заболеваемости, действенных методов контроля. Для определения прогноза заболеваемости существует большое количество различных технологий: статистические методы (поточечные оценки, регрессионные и авторегрессионные модели), прогнозирование на основе машинного обучения и прецедентов (байесовские сети, искус-

ственные нейронные сети, рассуждения на основе прецедентов), прогнозирование на базе фильтрации (вейвлет-декомпозиция, экспоненциальное сглаживание, калмановская фильтрация), а также математическое моделирование распространения инфекции [14-16].

Рядом авторов уже предпринимались попытки прогноза заболеваемости корью на основании математического моделирования [17-18]. Однако изменение в современных условиях основных детерминант эпидемического процесса требует введения новых опорных позиций при построении моделей прогноза заболеваемости, особенно на отдаленную перспективу.

Цель исследования – на основании имитационной математической модели эпидемического процесса кори дать прогноз развития ситуации на ближайшую и отдаленную перспективу для определения адекватных данной ситуации технологий контроля инфекции в мегаполисе на этапе ее элиминации.

Материалы и методы

Исследование выполнено в 2017-2018 гг. на кафедре эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы Уральского государственного

го медицинского университета и кафедре интеллектуальных информационных технологий Института фундаментального образования Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина.

Имитационная модель эпидемического процесса кори в мегаполисе на этапе элиминации инфекции была разработана с использованием специального программного обеспечения AnyLogic Professional 7.0 и включала основные детерминанты эпидемического процесса, установленные по результатам собственных исследований и данным источников литературы [4, 5, 12, 13, 19, 20].

В математическую модель были заложены следующие параметры: численность населения мегаполиса (всего - 1 450 000, в том числе по отдельным возрастным группам), число родившихся (62) и умирающих за 1 календарный день (всего 55 чел., в том числе с разбивкой по возрастам), доля лиц старше 50 лет, переболевших корью до введения плановой иммунизации и в последующие годы, имеющих устойчивый иммунитет к инфекции (на момент запуска модели - 30% населения мегаполиса), особенности клинических проявлений кори (продолжительность в днях периодов заболевания и эпидемиологическая значимость в эти периоды заболевших как источников инфекции), а также показатели, отражающие иммунный ответ на вакцинацию. В качестве основополагающих иммунологических показателей учитывали то, что 50% новорожденных имеют материнские антитела и защищены от этой инфекции в течение первых 6 мес жизни; после введения вакцины у 92-95% привитых иммунитет к кори формируется через 10-14 сут, тогда как у 5-7% постпрививочный иммунитет не формируется по различным причинам, еще при отсутствии бустер-эффекта гуморальный иммунитет утрачивается в среднем у 20% в течение 10 последующих лет.

При составлении модели эпидемического процесса было учтено, что ситуация по кори в крупном промышленном городе на этапе ее элиминации была представлена завозными с других территорий случаями инфекции и вероятность возникновения эпидемического неблагополучия заключалась в наличии условий для последующего распространения инфекции в очагах среди восприимчивых к ней детей и взрослых.

Для моделирования подобной ситуации каждые два месяца в систему «запускался» источник инфекции (завозной случай кори) и рассматривалось дальнейшее развитие эпидпроцесса при разном значении переменных. Авторами задавались различные значения для 6 параметров системы: охват детей вакцинирующей прививкой против кори в 1 год (After1Year - от 55% до 95%, что выражалось соответствующими коэффициентами 0,55-0,95); охват детей ревакцинирующей прививкой против

кори в 6 лет (After6Year= от 55% до 95%); охват населения мегаполиса прививками против кори (V=30-60%; что совместно с переболевшими 30% отражало иммунную прослойку в мегаполисе), охват населения ревакцинирующей прививкой против кори каждые 10 лет (After10Year=0-90%); прививочный анамнез источника инфекции в очаге (A - соответствовало одному заболевшему при контакте с ранее привитым и четырем - при контакте с ранее не привитым); своевременность и качество организации противоэпидемических мероприятий при заносе инфекции на территорию (Vrachi - выражалось двумя коэффициентами - 1=мероприятия проведены с нарушениями, 0,5=мероприятия проведены качественно и своевременно, что позволяло снизить активность первого заболевшего как источника инфекции на 50%).

Вероятность последующего распространения инфекции при заносе в условиях крупного промышленного города определяли по специальной математической формуле:

$$F.capacity = (I-R/N) * I * \lambda * \mu, \text{ где}$$

R – число невосприимчивых к кори контингентов

N – численность населения

I – количество заболевших в текущий день

λ – контактное число для первого заболевшего с учетом его прививочного анамнеза (передается параметром A, может быть равен 1 и 4)

μ – организация противоэпидемических мероприятий (передается параметром Vrachi, равен 1 либо 0,5).

Прогноз развития ситуации был проведен на ближайшие 30 лет (10 950 дней), что связано с изменением иммунной структуры населения за этот период (постепенным снижением количества лиц, экспонированных к вирусу кори, и через 25 лет, с учетом средней продолжительности жизни - полным выходом их из моделируемого процесса).

По итогам запуска имитационной математической модели при различных комбинациях переменных получилось более 1500 вариантов развития ситуации, которые были выгружены в базу данных, включавшую 14 804 400 значений. После подготовки базы данных в системе Microsoft SQL Server Management Studio, результаты моделирования были загружены в комплексное программное обеспечение для бизнес-аналитики Power BI, в котором были проведены анализ, графическая обработка и визуализация полученных итогов моделирования развития эпидемического процесса кори на территории.

Результаты и обсуждение

При анализе развития ситуации было учтено, что в модели все переменные оказывают влияние на эпидемический процесс кори, в то же время

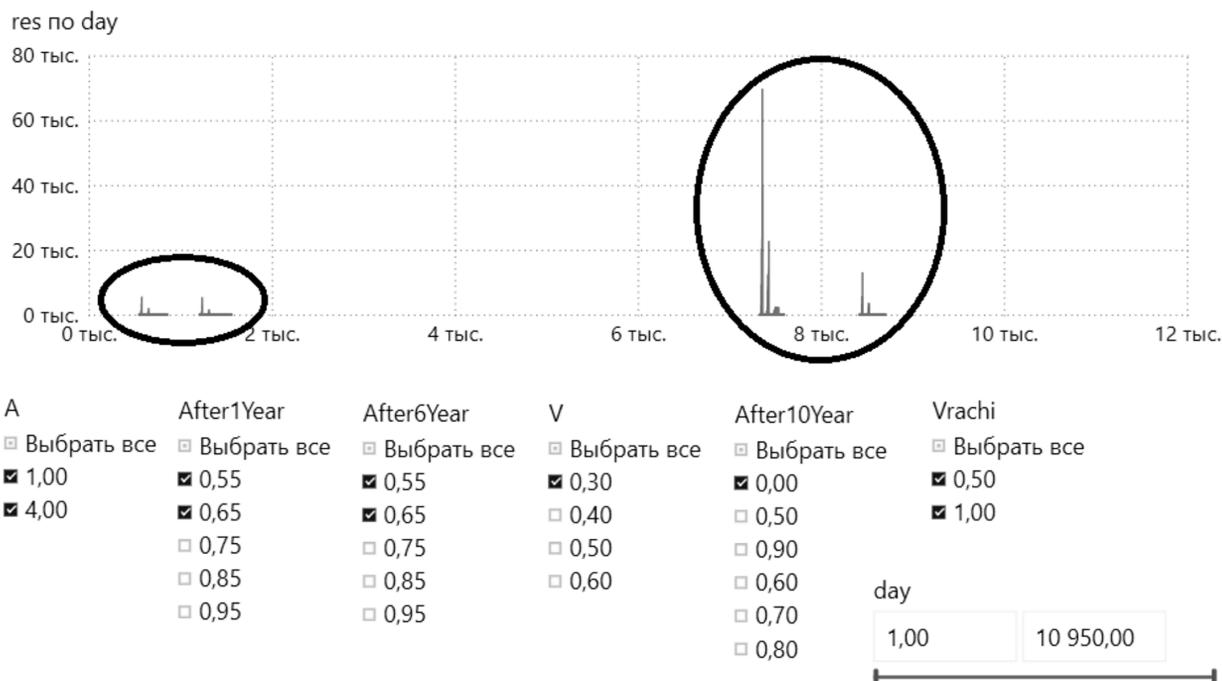


Рис.1. Прогноз заболеваемости корью при первой моделируемой ситуации (A=1;4; After1Year и After6Year =0,55;0,65; After10Year=0,0; V=0,3 Vrach1=0,5;1) – адаптировано из Power BI

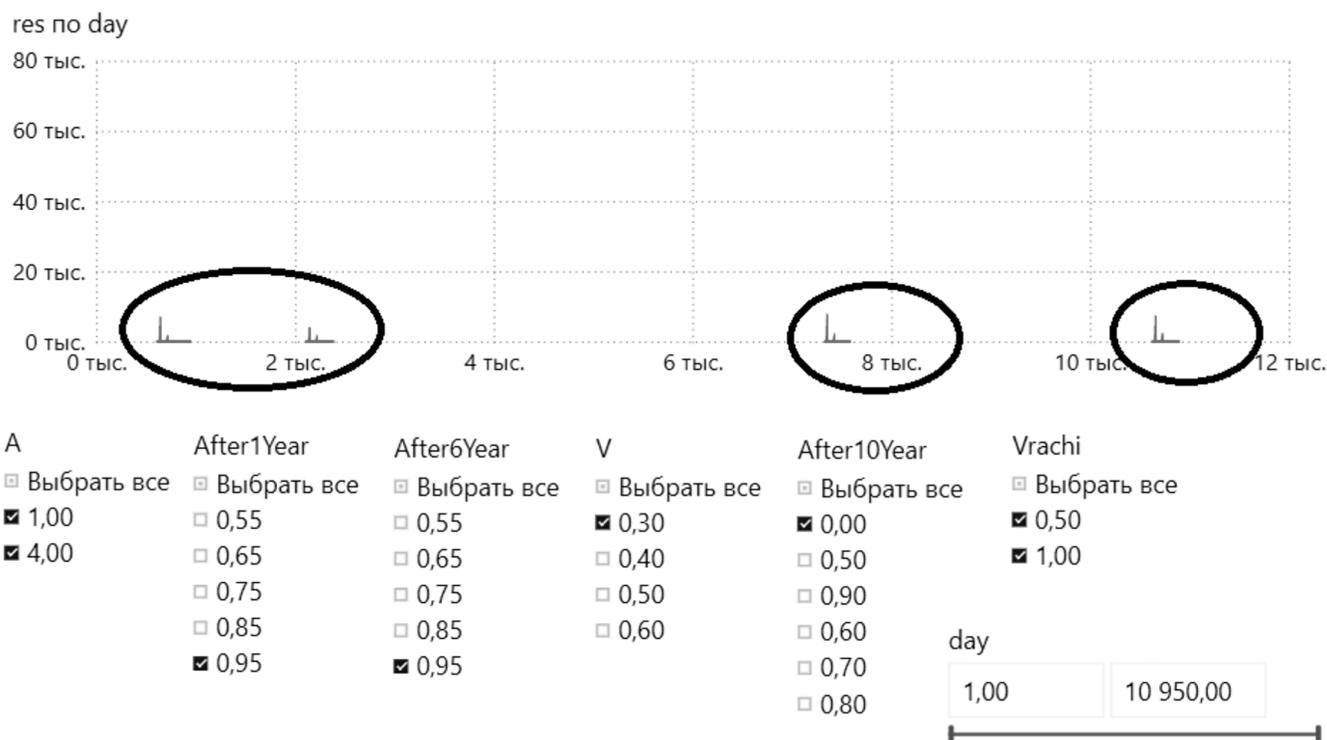


Рис. 2. Прогноз заболеваемости корью при второй моделируемой ситуации (A=1;4; After1Year и After6Year =0,95; After10Year=0,0; V=0,3 Vrach1=0,5;1) – адаптировано из Power BI

часть переменных (охват прививками декретированных возрастных групп и населения в целом) строго контролируют в рамках системы эпидемио-

логического надзора, а другая часть - либо не поддается контролю, либо имеет случайный характер. Такими переменными были вероятность заноса

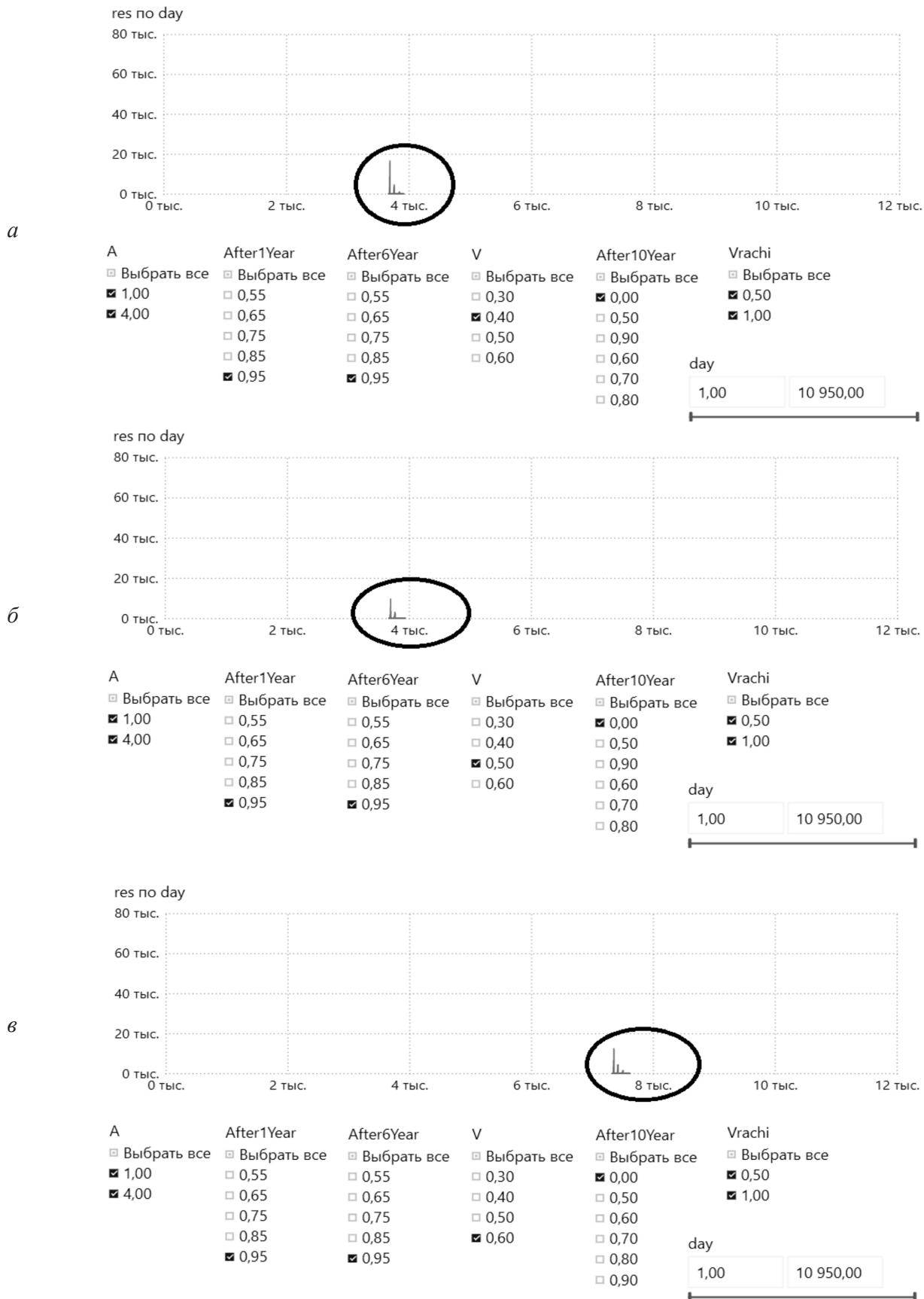


Рис. 3. Прогноз заболеваемости корью при A=1;4; After1Year и After6Year =0,95; After10Year=0,0; V=0,4;0,5;0,6; Vrach=0,5;1 - адаптировано из Power BI

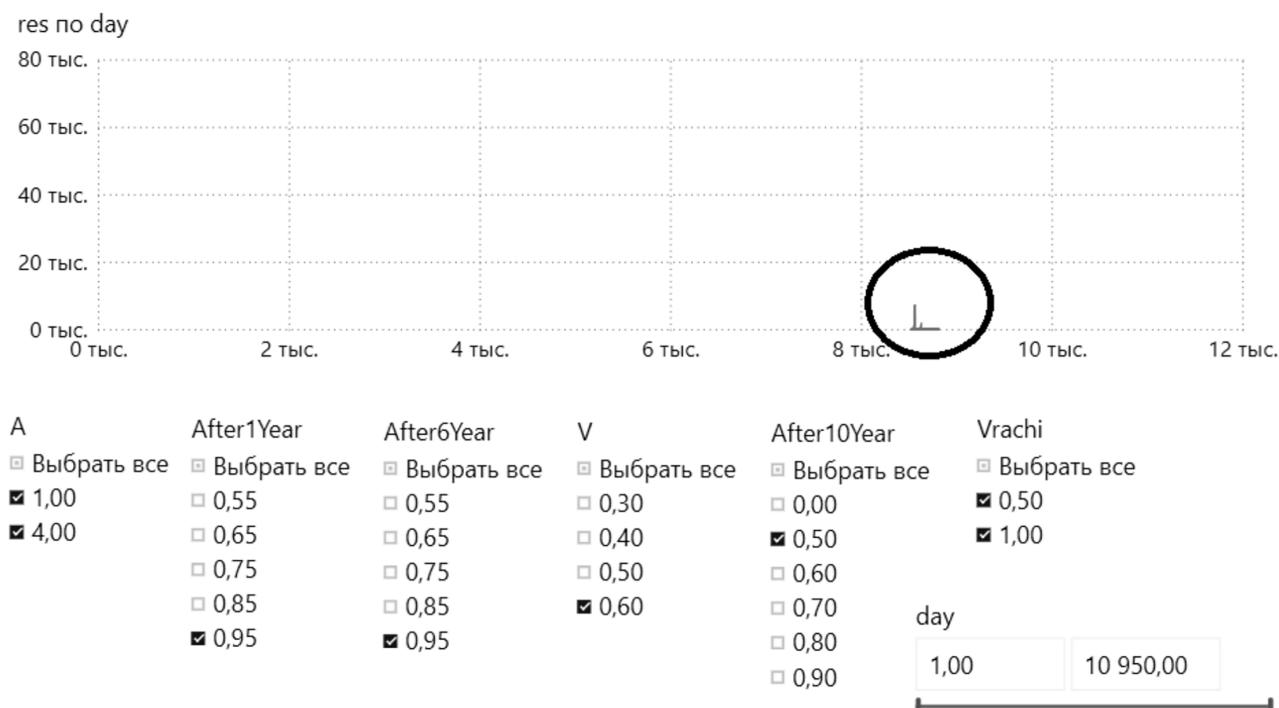


Рис. 4. Прогноз заболеваемости корью при A=1;4; After1Year и After6Year =0,95; After10Year=0,5; V=0,6; Vrachi=0,5;1 - адаптировано из Power BI

источника инфекции с разным прививочным анамнезом и своевременность/несвоевременность организации противоэпидемических мероприятий. Как показывает анализ вспышек кори в последние годы, зачастую имеют место пропущенные случаи кори и дефекты в организации противоэпидемических мероприятий.

В связи с этим, мы приняли решение во всех прогнозируемых вариантах развития заболеваемости учитывать, что занос инфекции может быть связан с источником с любым прививочным анамнезом и высокой вероятностью несвоевременной организации противоэпидемических мероприятий. В модели мы рассматривали возможность воздействия только на те факторы, которые можно было контролировать в условиях реального времени, а именно: охват прививками детей в декретированном возрасте, иммунная прослойка к кори популяции и проведение плановой ревакцинация каждые 10 лет.

Первый моделируемый вариант ситуации должен был дать прогноз развития эпидемического процесса кори при действии факторов, актуальных для настоящего времени: фактическая своевременность охвата прививками детей в «индикаторных» группах на уровне 55-65%, за счет позднего начала вакцинации, иммунная прослойка населения на уровне 60% (за счет 30% переболевших ранее и 30% вакцинированных) и отсутствие введения бустерных доз вакцины в последующем. При такой

комбинации переменных было установлено, что уже в течение ближайших 10 лет будут регистрироваться вспышки кори, а через 20 лет - интенсивность подъемов заболеваемости возрастает в 2-10 раз (рис. 1), что свидетельствует о неэффективности существующей системы эпидемиологического надзора за коревой инфекцией.

Второй вариант моделируемой ситуации касался жесткого контроля полноты и своевременности охвата прививками детей в возрасте 1 год и 6 лет на уровне 95%, рекомендуемый экспертами Всемирной организации здравоохранения, при этом иммунная прослойка к кори населения будет соответствовать 60%. При данном наборе переменных вероятность регистрации вспышек по-прежнему сохраняется, как в ближайшем, так и в отдаленном периоде (за счет восприимчивых взрослых и дефектов в организации противоэпидемических мероприятий), однако интенсивность подъемов заболеваемости становится значительно меньшей, чем при первом модельном варианте (рис. 2).

В следующих модельных вариантах развития эпидемического процесса кори в мегаполисе учитывали полноту охвата прививками детей в декретированных возрастных группах не менее 95% и повышение иммунной прослойки населения до 90%, за счет увеличения количества привитых. При такой комбинации переменных вероятность регистрации вспышек сохранялась, но периодичность их наступления соответствовала 10-11 и 20-21 лет (рис. 3).

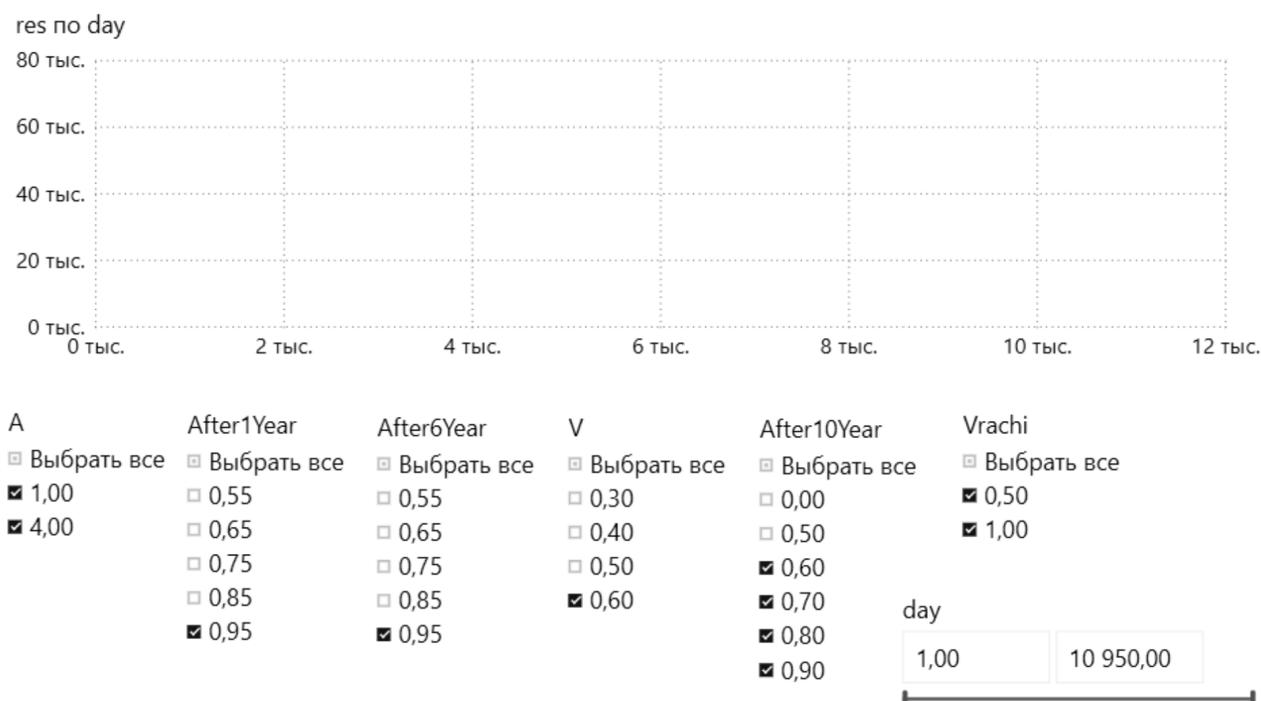


Рис. 5. Прогноз заболеваемости корью при $A=1;4$; After1 Year и After6Year =0,95; After10Year=0,6;0,7;0,8;0,9; $V=0,6$; Vrachi=0,5;1 - адаптировано из Power BI

Таким образом, моделирование эпидемического процесса показало, что достижение и поддержание высокой привитости детей в «индикаторных» возрастных группах и создание иммунной прослойки населения в целом не менее 90-95% за счет двукратной иммунизации является недостаточной мерой для контроля заболеваемости в современных условиях.

В связи с этим, мы рассмотрели варианты развития эпидемической ситуации на ближайшую и отдаленную перспективу при введении бустерных доз вакцины каждые 10 лет. При охвате ревакцинацией против кори каждые 10 лет до 50% жителей мегаполиса, будут регистрироваться вспышки, но по прошествии 23-24 лет (рис. 4).

При ревакцинации против кори жителей мегаполиса с интервалом в 10 лет на уровне 60% и более можно обеспечить эпидблагополучие в течение 30 лет (рис. 5). Однако это не означает, что не нужно стремиться к более высокому охвату населения ревакцинирующими прививками. Прогноз заболеваемости был представлен только на ближайшие 30 лет, а учитывая высокий уровень контагиозности инфекции, всеобщую восприимчивость, отсутствие бустер-эффекта из-за ограниченной циркуляции вируса и особенности иммунного ответа у привитых возможно, что в течение 40-50 лет накопится достаточное количество восприимчивых к кори лиц, и ситуация по кори может измениться. С целью проверки этой гипотезы был сделан прогноз на 50 лет.

Было установлено, что при охвате прививками в 60% первая вспышка кори может быть зарегистрирована через 31 год от запуска модели, при охвате в 70% - через 40 лет, а при охвате в 80% - благоприятная эпидемиологическая ситуация сохранялась на протяжении 50 лет.

Следовательно, для контроля ситуации вполне обоснованным будет охват ревакцинацией против кори 80-90% популяции, каждые 10 лет.

Заключение

Таким образом, построенная имитационная модель, учитывающая влияние различных детерминант эпидемического процесса кори, позволила дать прогноз развития эпидемической ситуации на ближайшую и отдаленную перспективу. Модель показала, что существующая система эпидемиологического надзора за корью в мегаполисе не совершенна и требует оптимизации. Приоритетными направлениями для контроля эпидемической ситуации по коревой инфекции на этапе ее элиминации должны стать жесткий контроль своевременности и полноты охвата прививками детей в «индикаторных» группах (не менее 95%), поддержание высокой иммунной прослойки населения в целом не менее 90% и введение ревакцинации против кори каждые 10 лет (с охватом прививками не менее 80-90%).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цвиркун О.В., Тихонова Н.Т., Ющенко Г.В., Герасимова А.Г. Эпидемический процесс кори в разные периоды вакцинопрофилактики. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2015; 2(81): 80-7.
2. Цвиркун О.В., Герасимова А.Г., Тихонова Н.Т., Тураева Н.В., Пименова А.С. Структура заболевших корью в период элиминации. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2012; 2(63): 21-5.
3. Поздняков А.А., Чернявская О.П. Проявления эпидемического процесса кори и краснухи на современном этапе. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2018; 17(5): 45-53.
4. Golubkova A.A., Platonova T.A., Olshvang O.Yu., Kharitonov A.N., Lelenkova E.V., Yuzhanina T.S. Measles: manifestations at the stage of elimination of infection and directions for effective management of the epidemic process. *The Medical-Surgical Journal of the Physicians and Naturalist Society from Iasi*. 2018; 122(1): 146-52.
5. Голубкова А.А., Платонова Т.А., Харитонов А.Н., Рыбинскова Э.А., Леленкова Е.В., Южанина Т.С. Корь. Характеристика эпидемического процесса и его детерминант в условиях реального времени (на примере вспышки кори в Екатеринбурге в 2016г.). *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2017; 6(97): 54-8.
6. Скрыбина С.В., Ковязина С.А., Кузьмин С.В., Юровских А.И., Цвиркун О.В., Герасимова А.Г. и др. Вспышка кори в Свердловской области. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2018; 2(99): 50-6.
7. Наретя Н.Д., Россосанская Н.В., Филиппова В.И. Анализ вспышки кори на территории Московской области. *Материалы XI съезда ВНПОЭМП, Москва, 16-17 ноября 2017 года*. - 2017.
8. Woudenberg T., van Binnendijk R.S., Sanders E.A.M. Large measles epidemic in the Netherlands, May 2013 to March 2014: changing epidemiology. *Eurosurveillance*. 2017; 22(3): 1-9.
9. Werber D., Hoffmann A., Santibanez S., Mankertz A., Sagebiel D. Large measles outbreak introduced by asylum seekers and spread among the insufficiently vaccinated resident population, Berlin, October 2014 to August 2015. *Eurosurveillance*. 2017; 22(34): 1-8.
10. Magurano F., Baggieri M., Filia A., Manso MD, Lazzarotto T., Amendola, A. et al. Towards measles elimination in Italy: Virological surveillance and genotypes trend (2013–2015). *Virus Research*. 2017; 236: 24-9.
11. Gibney K. B., Brahma A., M. O'Hara, Morey R., Franklin L. Challenges in managing a school-based measles outbreak in Melbourne, Australia, 2014. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*. 2017; 41: 80-4.
12. Голубкова А.А., Платонова Т.А., Харитонов А.Н., Сергеев А.Г., Леленкова Е.В., Южанина Т.С. Эпидемический процесс коревой инфекции в период ее элиминации и стратегические направления контроля в условиях реального времени. *Пермский медицинский журнал*. 2017; 4: 67-73.
13. Голубкова А.А., Платонова Т.А., Харитонов А.Н., Смирнова С.С., Ковязина С.А. Вакцинопрофилактика кори и пути ее оптимизации на завершающем этапе элиминации инфекции. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2018; 4: 91-4.
14. Кондратьев М.А. Методы прогнозирования и модели распространения заболеваний. *Компьютерные исследования и моделирование*. 2013; 5(5): 863-82.
15. Коробецкая А.А. Прогнозирование заболеваемости населения Российской Федерации на основе моделирования временных рядов. *Вестник Самарского муниципального института управления*. 2010; 4(15): 31-7.

16. Лопатин А.А., Сафронов В.А., Раздорский А.С., Куклев Е.В. Современное состояние проблемы математического моделирования и прогнозирования эпидемического процесса. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2010; 105: 28-30.
17. Артюшенко С.В., Контарев Н.А., Юминова Н.В., Зверев В.В. Математический анализ эффективности элиминации кори в России. *Журнал инфектологии*. 2010; 2(3): 46-7.
18. Брико Н.И., Отвагин С.А., Герасимов А.Н. Математическое моделирование с целью прогнозирования заболеваемости корью. *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2006; 2: 15-9.
19. Заргарьянц А.И., Яковлева И.В., Селезнева Т.С., Свиридов В.В., Белевская А.А. Длительность и напряженность поствакцинального гуморального иммунитета к вирусу кори, паротита и краснухи. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*. 2005; 5: 15-9.
20. Каплина С.П., Харит С.М., Гоголева О.В., Александрова Е.И. Вакцинопрофилактика кори у детей с патологией центральной нервной системы. *Журнал инфектологии*. 2012; 4(2): 51-5.

REFERENCES

1. Tsvirkun O.V., Tihonova N.T., Yushchenko G.V., Gerasimova A.G. The epidemic process of measles in different periods of vaccination. *Epidemiologiya i vaksino profilaktika*. 2015; 2(81): 80-7. (In Russian)
2. Tsvirkun O.V., Gerasimova A.G., Tihonova N.T., Turaeva N.V., Pimenova A.S. The structure of cases of measles in the period of elimination. *Epidemiologiya i vaksino profilaktika*. 2012; 2(63): 21-5. (In Russian)
3. Pozdnyakov A.A., Chernyavskaya O.P. Manifestations of the epidemic process of measles and rubella at the present stage. *Epidemiologiya i vaksino profilaktika*. 2018; 17(5): 45-53. (In Russian)
4. Golubkova A.A., Platonova T.A., Olshvang O.Yu., Kharitonov A.N., Lelenkova E.V., Yuzhanina T.S. Measles: manifestations at the stage of elimination of infection and directions for effective management of the epidemic process. *The Medical-Surgical Journal of the Physicians and Naturalist Society from Iasi*. 2018; 122(1): 146-52.
5. Golubkova A.A., Platonova T.A., Kharitonov A.N., Rybinskova E.A., Lelenkova E.V., Yuzhanina T.S. Measles. Characteristics of the epidemic process and its determinants in real time (on the example of measles outbreak in Yekaterinburg in 2016). *Epidemiologiya i vaksino profilaktika*. 2017; 6(97): 54-8. (In Russian)
6. Scriabina S.V., Kovyazin, S.A., Kuzmin S.V., Yurovskikh, A.I., Tsvirkun O.V., Gerasimova A.G. et al. The measles outbreak in the Sverdlovsk region. *Epidemiologiya i vaksino profilaktika*. 2018; 2(99): 50-6. (In Russian)
7. Naretya N.D., Rossoshanskaya N.V., Filippova V.I. Analysis of measles outbreak in the Moscow region. *Proceedings of the XI Congress, Moscow, 16-17 November 2017*. – 2017. (In Russian)
8. Woudenberg T., van Binnendijk R.S., Sanders E.A.M. Large measles epidemic in the Netherlands, May 2013 to March 2014: changing epidemiology. *Eurosurveillance*. 2017; 22(3): 1-9.
9. Werber D., Hoffmann A., Santibanez S., Mankertz A., Sagebiel D. Large measles outbreak introduced by asylum seekers and spread among the insufficiently vaccinated resident population, Berlin, October 2014 to August 2015. *Eurosurveillance*. 2017; 22(34): 1-8.
10. Magurano F., Baggieri M., Filia A., Manso MD, Lazzarotto T., Amendola, A. et al. Towards measles elimination in Italy: Virological surveillance and genotypes trend (2013–2015). *Virus Research*. 2017; 236: 24-9.
11. Gibney K. B., Brahma A., M. O'Hara, Morey R., Franklin L. Challenges in managing a school-based measles outbreak in Melbourne, Australia, 2014. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*. 2017; 41: 80-4.

12. Golubkova A.A., Platonova T.A., Kharitonov A.N., Sergeev A.G., Lelenkova E.V., Yuzhanina T.S. The epidemic process of measles in the period of its elimination and strategic direction for monitoring in real time. *Permskiy meditsinskiy zhurnal*. 2017; 4: 67-73. (In Russian)
13. Golubkova A.A., Platonova T.A., Kharitonov A. N., Smirnova S.S., Kovyazina S.A. Vaccination of measles and ways of its optimization in the final stage of elimination of infection. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2018; 4: 91-4. (In Russian)
14. Kondratyev M.M. Methods of forecasting and models of disease spread. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie*. 2013; 5 (5): 863-82. (In Russian)
15. Korobetskaya A.A. Prediction of morbidity of population of the Russian Federation on the basis of modeling time series. *Vestnik Samarskogo munitsipal'nogo instituta upravleniya*. 2010; 4(15): 31-7. (In Russian)
16. Lopatin A.A., Safronov V.A., Razdorsky A.S., Kuklev E.V. Current state of the mathematical modeling and forecasting of the epidemic process. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. 2010; 105: 28-30. (In Russian)
17. Artyushenko S.V., Kontarev N.A., Yuminova N.V., Zverev V.V. The mathematical analysis of the effectiveness of measles elimination in Russia. *Zhurnal infektologii*. 2010; 2 (3): 46-7. (In Russian)
18. Briko N.I., Otvagin S.A., Gerasimov A.N. Mathematical modeling to predict measles incidence. *Epidemiologiya i infektsionnye bolezni*. 2006; 2: 15-9 (In Russian)
19. Zargarianz A.I., Yakovleva I.V., Selezneva T.S., Sviridov V.V., Belevskaya A.A. Duration and intensity of postvaccinal humoral immunity to the virus measles, mumps and rubella. *Epidemiologiya i vaktsinoprofilaktika*. 2005; 5: 15-9. (In Russian)
20. Kaplina S.P., Harit S.M., Gogoleva O.V., Alexandrova E.I. Vaccination of measles in children with pathology of the Central nervous system. *Zhurnal infektologii*. 2012; 4 (2): 51-5. (In Russian)

Поступила 19.11.2018

Принята в печать 22.11.2018

Сведения об авторах:

Голубкова Алла Александровна, доктор мед. наук, проф., каф. эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, науч. сотр. ФБУН «ЕНИИВИ» Роспотребнадзора, E-mail: allagolubkova@yandex.ru; **Обабков Василий Николаевич**, канд. тех. наук, доцент каф. интеллектуальных информационных технологий «Института фундаментального образования» ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», директор ООО «Европейско-Азиатская медицинская компания», E-mail: obabkovv@gmail.com; **Колесникова Светлана Юрьевна**, инженер-программист ООО «Европейско-Азиатская медицинская компания», E-mail: sveta-kolesnikov@mail.ru; **Смирнова Светлана Сергеевна**, канд. мед. наук, доцент каф. эпидемиологии, социальной гигиены и организации госсанэпидслужбы ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, руководитель Урало-Сибирского научно-методического центра по профилактике ИСМП ФБУН «ЕНИИВИ» Роспотребнадзора, E-mail: smirnova_ss69@mail.ru