ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА "МИФИ", 2020, том 9, № 6, с. 561–566

_ ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА _____ И ИНФОРМАТИКА

УДК 51-77

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ SIR ДЛЯ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ВОЛН КОРОНАВИРУСА В МОСКВЕ

© 2020 г. Н. А. Кудряшов^{1,*}, Р. Б. Рыбка^{2,**}, А. Г. Сбоев^{1,2,***}, А. В. Серенко^{2,****}

¹ Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, 115409 Россия ² Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, 123182 Россия

> *e-mail: nakudryashov@mephi.ru **e-mail: Rybka_RB@nrcki.ru ***e-mail: Sboev_AG@nrcki.ru ***e-mail: serenko@phystech.edu Поступила в редакцию 22.12.2020 г. После доработки 29.12.2020 г. Принята к публикации 12.01.2021 г.

Рассматривается математическая модель Susceptible-Infected-Removed (SIR) развития эпидемии коронавируса с учетом предложенной ранее редуцированной однопараметрической модели. На примере Москвы подобраны параметры модели, описывающие первую и вторую волны эпидемии новой коронавирусной инфекции. Анализируется параметр $\delta = \beta/(\alpha N)$, который определяет поведение редуцированной модели SIR в обезразмеренных переменных и равен пиковой доле больных. Показано, что обе волны заболевания в Москве с достаточной точностью описываются моделью SIR, при этом параметр δ , а также скорость перехода больных в выздоровевшие или умершие β можно считать постоянными между волнами, в то время как скорость перехода здоровых в больные α уменьшилась во второй волне по сравнению с первой, а численность контактной популяции N – увеличилась. Таким образом, демонстрируется, что параметр δ , который, по существу, является инвариантом при развитии пандемии, можно использовать в качестве однозначной и устойчивой характеристики развития ситуации в конкретном регионе.

DOI: 10.1134/S2304487X20060048

введение

Пандемия новой коронавирусной инфекции привлекла беспрецедентные усилия к математическому моделированию эпидемий, в том числе к прогнозированию динамики количества заболевших, выздоровевших и умерших. Для этого применяются как методы моделирования распространения болезни в популяции – модели экспоненциального роста [1], популяционные модели вида Susceptible-Infected-Removed (SIR), Susceptible-Exposed-Infected-Removed (SEIR) и т.д. [2-5], так и методы прогнозирования временных рядов – экстраполяционные методы, такие, как exponential smoothing [6, 7], и регрессионные методы [6], в том числе нейросетевые [3, 8, 9]. Работы, посвященные сравнению точности различных методов, показывают, что сложные регрессионные методы работают не лучше простых (при прогнозе на 10 дней вперед [6]), а SEIR работает не лучше SIR [10]. Для моделей SEIR [11] и SIR в последнее время появился ряд работ [12–15], посвященных их аналитическому решению.

В то же время, популяционные модели обладают тем дополнительным достоинством, что их параметры, обладающие физическим смыслом в контексте скорости распространения эпидемии, можно использовать в качестве характеристик развития ситуации, для того, чтобы сравнивать между собой различные регионы или различные временные интервалы.

В настоящее время во многих регионах, где эпидемия началась давно и продолжает развиваться, отчетливо выражены две "волны" заболевания. При этом развитие ситуации зависит от множества факторов, изменяющихся со временем: погодные условия, поведение людей, сдерживающие меры властей и т.п. Цель данной работы — выяснить на примере Москвы, можно ли описать с помощью редуцированной модели SIR с постоянными параметрами две волны эпидемии, и сравнить, какие параметры модели различаются между волнами.

Классическая модель SIR [16] описывает изменение во времени трех переменных: количества здоровых (могущих заразиться) людей S(t), коли-

чество болеющих (заразных) людей I(t) и количество переболевших людей R(t) (которые считаются более не заразными):

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha SI,$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha SI - \beta I,$$

$$\frac{dR}{dt} = \beta I.$$
(1)

Таким образом, для применения модели необходимо задать скорость заражения α, скорость выздоровления β и общее количество людей N, а также значения переменных в начальный момент времени $I_0 = I(t = 0)$ и $R_0 = R(t = 0)$. Следует отметить, что N есть численность популяции, потенциально подверженной заболеванию, что не обязательно равно численности населения в регионе. Поэтому при настройке модели на реальных данных в общем случае все эти параметры следует считать неизвестными. Однако подбор всех параметров по наблюдаемой динамике *I* и *R* может оказаться неоднозначной задачей. Неоднозначность оптимальных параметров SIR-модели может затруднить их интерпретацию для сравнения развития ситуации в регионе.

Недавно [17] было показано, что в обезразмеренных переменных $S = \frac{S}{N}$, $\Gamma = \frac{I}{N}$, $R' = \frac{R}{N}$ и $\tau = t \times \alpha N$ динамика их определяется только двумя параметрами $\delta = \frac{\beta}{\alpha N}$ и начальной долей болеющих $I'(\tau = 0)$. В частности, пиковая доля болеющих max I'(t) равна δ . Это дает основания рассматривать параметр δ как характеристику развития ситуации, не подверженную неоднозначности при определении се по данным наблюдений. Поэтому в настоящей работе две волны в Москве сравниваются по параметрам α , β , N и δ .

Параметры устанавливаются путем аппроксимации реальных и модельных I(t) и R(t), как описано в разделе 2, при этом для второй волны исследуется, какие параметры можно зафиксировать в значениях, подобранных для первой волны, а какие необходимо подбирать заново. В результате (в разделе 3) получено, что β и δ в первой и второй волнах одинаковы, а α и N различаются.

1. ДАННЫЕ И ИХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

В качестве наблюдений реальной динамики эпидемии в Москве используются данные Правительства РФ, доступные на платформе Yandex DataLens: количество (нарастающим итогом) подтвержденных случаев заболевания, выздоровления и смерти с 12 марта 2020 года до настоящего времени (на момент подготовки статьи – 17 декабря 2020 года). С переменными модели SIR эти наблюдения соотносятся следующим образом: I-Заболевших – Выздоровевших – Умерших, R == Выздоровевших + Умерших.

Граница между первой и второй волнами определена по локальному минимуму кривой ежедневных случаев заболевания, сглаженной фильтром Савицкого–Голая с шириной окна сглаживания в 31 день, и попала на 19 сентября.

Перед аппроксимацией данных SIR-моделью из них были удалены первые несколько дней, с 12 по 25 марта, в которые количество заболевших не превысило 50, поскольку при небольшом *I* может быть неправомерно моделировать стохастический процесс заражения скоростью заражения в популяционной модели. Кроме того, были удалены, как потенциально содержащие ошибки в измерениях, выбросы — дни, в которые количество заболевших отличается от предшествующих 7 дней более чем на 3 стандартных отклонения; таких было 9 дней. В результате осталось 268 дней, находящихся между 26 марта и 16 декабря.

С целью тестирования прогностической способности модели последние 14 дней обеих волн с 5 по 18 сентября и с 3 по 16 декабря — были зарезервированы для тестирования точности аппроксимации, и настройка параметров модели проводилась на оставшихся интервалах: с 26 марта по 4 сентября для первой волны и с 19 сентября по 2 декабря для второй волны.

2. МЕТОДИКА ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ SIR-МОДЕЛИ

Подбор параметров проводится методом наименьших квадратов Левенберга—Марквардта [18], реализованным в составе пакета Scientific Python [19]. Перед оптимизатором ставится задача минимизировать сумму квадратов разностей реальных и модельных рядов дневных значений I(t) и R(t).

Для первой волны настраиваемыми параметрами оптимизатора являются α , N, I_0 и R_0 . Перед вычислением модельных временных рядов для каждой комбинации α и N определяется δ по пиковой доле болеющих, и из нее вычисляется β .

Для второй волны подбираются те параметры, которые не взяты фиксированными; при этом если фиксирована δ , то оптимизатор подбирает все нефиксированные параметры, кроме одного (неважно, какого, оптимизатор достаточно устойчив к этому выбору), который вычисляется по δ и остальным параметрам.

Для тестировочных интервалов все параметры фиксируются такими, как на соответствующих

Таблица 1. Параметры SIR-модели, подобранные для первой и второй волны при различных комбинациях фиксируемых и настраиваемых параметров, а также точности аппроксимации I(t) и R(t) с этими параметрами по метрике R^2 на подгоночном и тестировочном интервалах

Волна	Фикс. параметры	δ	Ν	α	β	<i>R</i> ² на подгоночном интервале		<i>R</i> ² на тестировочном интервале	
						для $I(t)$	для <i>R</i> (<i>t</i>)	для <i>I</i> (<i>t</i>)	для <i>R</i> (<i>t</i>)
1 ^я	_	0.29	323784	2.9×10^{-7}	0.023	-2.36	0.08	0.53	0.6
2 ^я	_	0.3	840593	1.3×10^{-7}	0.033	0.99	0.99	-16.59	0.49
	β	0.2	681747	1.7×10^{-7}	0.023	0.96	0.94	-41.08	-0.39
	δ	0.29	830061	1.3×10^{-7}	0.033	0.99	0.99	-18.1	0.48
	αиβ	0.13	617439	2.9×10^{-7}	0.023	0.83	0.95	-87.13	-0.51
	βиδ	0.29	946877	8.4×10^{-8}	0.023	0.9	0.9	-0.45	-0.2

подгоночных интервалах, а I_0 и R_0 берутся равными значениям I и R в день, предшествующий тестировочному интервалу.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Найденные параметры модели, а также точность аппроксимации, характеризуемая коэффициентом детерминации R^2 , приведены в табл. 1.

На второй волне наилучшая точность аппроксимации на подгоночном интервале достигается тогда, когда подбираются все параметры: α , β и N; но также приемлемая точность достигается при всех комбинациях, в которых N подбирается заново для второй волны. Однако на тестировочном интервале второй волны точность аппроксимации I лучше всего тогда, когда δ и β фиксируются в значениях, подобранных по первой волне. Эти кривые приведены на рис. 1.

4. ПРОГНОЗ

Обнаруженное постоянство δ дает основания полагать, что она останется постоянной и в будущем; тогда максимальное количество одновременно болеющих людей составит 29% от общей численности N популяции, потенциально под-



Рис. 1. Динамика больных I(t) и переболевших R(t) из реальных наблюдений и модельная, при различных комбинациях параметров, подбираемых заново для второй волны и фиксируемых в значениях, подобранных по первой волне. Вертикальные пунктирные линии разграничивают интервалы: подгоночный и тестировочный первой волны и подгоночный и тестировочный второй волны.

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА "МИФИ" том 9 № 6 2020



Рис. 2. Прогноз динамики больных I(t) и переболевших R(t) в Москве на 2020–2021.

верженной заражению. Если N тоже не будет меняться в будущем, то по абсолютному значению пиковое количество заболевших будет равно 183 тысячам человек, а всего переболеет 880 тысяч человек. Если и α останется неизменной, то пик будет достигнут уже в конце декабря, а затем эпидемия пойдет на спад (см. рис. 2).

выводы

Обе волны коронавируса в Москве описываются моделью SIR с постоянными параметрами. При этом вторая волна отличается от первой скоростью α распространения болезни и численностью N популяции, потенциально подверженной заражению. Постоянными для обеих волн можно считать скорость перехода больных в переболевшие β , а также $\delta = \frac{\beta}{\alpha N}$ – параметр редуцированной SIR-модели, который можно не подбирать в ходе аппроксимации, а получить из пиковой доли болеющих.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа в части аналитического решения модели SIR поддержана программой конкурентоспособности НИЯУ МИФИ (проект № 02.a03.21.005), в части численных расчетов по оптимизации параметров поддержана грантом РФФИ № 20-04-60528 "Моделирование развития пандемий на основе нейронных сетей глубокого обучения и интернет-данных по реакции социума на карантинные меры". Работа выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования "Комплекс моделирования и обработки данных исследовательских установок мега-класса" НИЦ "Курчатовский институт", http://ckp.nrcki.ru/.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Matjaž Perc, Nina Gorišek Miksić, Mitja Slavinec, Andraž Stožer. Forecasting COVID-19 // Frontiers in Physics. 2020. V. 8. P. 127.
- 2. Binti Hamzah F.A., Lau C., Nazri H., Ligot D.V., Lee G., Tan C.L., Shaib M.K.B.M., Zaidon U.H.B., Abdullah A.B., Chung M.H. et al. CoronaTracker: worldwide COVID-19 outbreak data analysis and prediction // Bull. World Health Organ. 2020. V. 1. P. 32.
- Zifeng Yang, Zhiqi Zeng, Ke Wang, Sook-San Wong, Wenhua Liang, Mark Zanin, Peng Liu, Xudong Cao, Zhonggiang Gao, Zhitong Mai et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions // Journal of Thoracic Disease. 2020. V. 12(3). P. 165.
- 4. Anastassopoulou C., Russo L., Tsakris A., Siettos C. Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak // PLOS ONE. 2020. V. 15. № 3. P. 1–21.
- 5. *Wu J.T., Leung K., Leung G.M.* Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study // The Lancet. 2020. V. 395 (10225). P. 689–697.
- Rustam F., Reshi A.A., Mehmood A., Ullah S., On B., Aslam W., Choi G.S. COVID-19 future forecasting using supervised machine learning models // IEEE Access. 2020. V. 8. P. 101489–101499.
- Petropoulos F., Makridakis S. Forecasting the novel coronavirus COVID-19 // PLoS ONE. 2020. V. 15(3). P. 1–8.
- Abdelhafid Zeroual, Fouzi Harrou, Abdelkader Dairi, *Ying Sun*. Deep learning methods for forecasting COVID-19 time-series data: A comparative study // Chaos, Solitons & Fractals. 2020. V. 140. P. 110121.
- Peipei Wang, Xinqi Zheng, Gang Ai, Dongya Liu, Bangren Zhu. Time series prediction for the epidemic trends of COVID-19 using the improved LSTM deep learning method: Case studies in Russia, Peru and Iran // Chaos, Solitons & Fractals. 2020. V. 140. P. 110214.

- Roda W.C., Varughese M.B., Han D., Li M.Y. Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic? // Infectious Disease Modelling. 2020. V. 5. P. 271–281.
- Nicola Piovella. Analytical solution of SEIR model describing the free spread of the COVID-19 pandemic // Chaos, Solitons & Fractals. 2020. V. 140. P. 110243.
- 12. *Kröger M., Schlickeiser R.* Analytical solution of the SIR-model for the temporal evolution of epidemics. Part A: time-independent reproduction factor // Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical. 2020. V. 53. № 50. P. 505601.
- Barlow N.S., Weinstein S.J. Accurate closed-form solution of the SIR epidemic model // Physica D: Nonlinear Phenomena. 2020. V. 408. P. 132540.
- 14. *Prodanov D.* Analytical parameter estimation of the SIR epidemic model. Applications to the COVID-19 pandemic. *arXiv preprint*, page arXiv:2010.07000, October 2020.
- Kudryashov N.A., Chmykhov M.A., Vigdorowitsch M. Analytical features of the SIR model and their applications to COVID-19 // Applied Mathematical Modelling. 2021. V. 90. P. 466–473.

- Kermack W.O., McKendrick A.G. A contribution to the mathematical theory of epidemics // Proc. R. Soc. London. Ser. A: Containing papers of a mathematical and physical character. 1927. V. 115 (772). P. 700–721.
- Кудряшов Н.А., Чмыхов М.А. Приближенные решения SIR-модели для описания короновируса // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, 2020 (в печати).
- Moré J.J. The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory / In Numerical Analysis, Ed. by G. A. Watson. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1978. P. 105–116.
- Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E., Haberland M., Reddy T., Cournapeau D., Burovski E., Peterson P., Weckesser W., Bright J., van der Walt S.J., Brett M., Wilson J., Millman K.J., Mayorov N., Nelson A.R.J., Jones E., Kern R., Larson E., Carey C.J., İlhan Polat, Yu Feng, Moore E.W., VanderPlas J., Laxalde D., Perktold J., Cimrman R., Henriksen Ian, Quintero E.A., Harris Ch.R., Archibald A.M., Ribeiro A.H., Pedregosa F., van Mulbregt P. SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in python // Nature Methods. 2020. V. 17. P. 261–272.

Vestnik Nacional'nogo Issledovatel'skogo Yadernogo Universiteta "MIFI", 2020, vol. 9, no. 6, pp. 561-566

Parameters of the SIR Model for the First and Second Waves of COVID-19 in Moscow

N. A. Kudryashov^{*a*,*}, R. B. Rybka^{*b*}, A. G. Sboev^{*a*,*b*,**}, and A. V. Serenko^{*b*,***}

^a National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia ^b National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, 123182 Russia

Received December 22, 2020; revised December 29, 2020; accepted January 12, 2021

Abstract—The susceptible—infected—removed (SIR) model, which is a compartmental mathematical model of epidemic outbreak, is considered in the form of the recently proposed one-parameter model. For the particular case of Moscow, the parameters of the model are found that describe the first and second waves of the COVID-19 epidemic. We have analyzed the parameter $\delta = \beta/(\alpha N)$ that determines the behavior of the reduced SIR model dimensionless compartment variables and which is equal to the peak proportion of the infected persons. The results show that both waves can be fitted with the SIR model with satisfactory accuracy. The parameter δ , as well as the infected-to-removed transition rate β , can be asserted equal for the two waves. On the contrary, the susceptible-to-infected transition rate α and the size N of the population potentially exposed to the infection proved to have changed in the second peak compared to the first one. Thus, the parameter δ can be used as an unambiguous and robust characteristic of the dynamics of the outbreak in a particular region.

Keywords: novel coronavirus, COVID-19, SIR, compartmental model

DOI: 10.1134/S2304487X20060048

REFERENCES

- 1. Matjaž Perc, Nina Gorišek Miksić, Mitja Slavinec, and Andraž Stožer. Forecasting COVID-19. *Frontiers in Physics*, 8: 127, 2020.
- Binti Hamzah F.A., Lau C., Nazri H., Ligot D.V., Lee G., Tan C.L., Shaib M.K.B.M., Zaidon U.H.B., Abdullah A.B., Chung M.H. et al. CoronaTracker:

worldwide COVID-19 outbreak data analysis and prediction. *Bull World Health Organ*, 1: 32, March 2020.

3. Zifeng Yang, Zhiqi Zeng, Ke Wang, Sook-San Wong, Wenhua Liang, Mark Zanin, Peng Liu, Xudong Cao, Zhongqiang Gao, Zhitong Mai, et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions. *Journal of Thoracic Disease*, 12 (3): 165, March 2020.

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЯДЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА "МИФИ" том 9 № 6 2020

- 4. Cleo Anastassopoulou, Lucia Russo, Athanasios Tsakris, and Constantinos Siettos. Data-based analysis, modelling and forecasting of the COVID-19 outbreak. *PLoS ONE*, 15 (3): 1–21, March 2020.
- Joseph T. Wu, Kathy Leung, and Gabriel M. Leung. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet*, 395 (10225): 689–697, 2020.
- Rustam F., Reshi A.A., Mehmood A., Ullah S., On B., Aslam W., and Choi G.S. COVID-19 future forecasting using supervised machine learning models. *IEEE Access*, 8: 101489–101499, May 2020.
- Fotios Petropoulos and Spyros Makridakis. Forecasting the novel coronavirus COVID-19. *PLoS ONE*, 15 (3): 1–8, March 2020.
- 8. Abdelhafid Zeroual, Fouzi Harrou, Abdelkader Dairi, and Ying Sun. Deep learning methods for forecasting COVID-19 time-series data: A comparative study. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140: 110121, 2020.
- 9. Peipei Wang, Xinqi Zheng, Gang Ai, Dongya Liu, and Bangren Zhu. Time series prediction for the epidemic trends of COVID-19 using the improved LSTM deep learning method: Case studies in Russia, Peru and Iran. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140: 110214, November 2020.
- Weston C. Roda, Marie B. Varughese, Donglin Han, and Michael Y. Li. Why is it difficult to accurately predict the COVID-19 epidemic? *Infectious Disease Modelling*, 5: 271–281, 2020.
- 11. Nicola Piovella. Analytical solution of SEIR model describing the free spread of the COVID-19 pandemic. *Chaos, Solitons & Fractals*, 140: 110243, 2020.
- 12. M. Kröger and R. Schlickeiser. Analytical solution of the SIR-model for the temporal evolution of epidemics. part A: time-independent reproduction factor. *Journal* of *Physics A: Mathematical and Theoretical*, 53 (50): 505601, November 2020.

- 13. Nathaniel S. Barlow and Steven J. Weinstein. Accurate closed-form solution of the SIR epidemic model. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 408: 132540, 2020.
- Dimiter Prodanov. Analytical parameter estimation of the SIR epidemic model. applications to the COVID-19 pandemic. *arXiv preprint*, page arXiv:2010.07000, October 2020.
- 15. Nikolay A. Kudryashov, Mikhail A. Chmykhov, and Michael Vigdorowitsch. Analytical features of the SIR model and their applications to COVID-19. *Applied Mathematical Modelling*, 90: 466–473, 2021.
- William Ogilvy Kermack and Anderson G. McKendrick. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the royal society of London. Series A, Containing papers of a mathematical and physical character*, 115 (772): 700–721, 1927.
- Kudryashov N.A., Chmykhov M.A. Priblizhennye resheniya SIR-modeli dlya opisaniya koronavirusa [Approximate Solutions of The SIR-model for Describing the Coronavirus]. *Vestnik Natsional'nogo Issledovatel'skogo Yadernogo Universiteta "MEPhI"*, 2020. (to appear) (in Russian)
- Jorge J. Moré. The Levenberg-Marquardt algorithm: Implementation and theory. In G. A. Watson, ed., *Numerical Analysis*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1978. pp. 105–116.
- Pauli Virtanen, Ralf Gommers, Travis E. Oliphant, Matt Haberland, Tyler Reddy, David Cournapeau, Evgeni Burovski, Pearu Peterson, Warren Weckesser, Jonathan Bright, Stéfan J. van der Walt, Matthew Brett, Joshua Wilson, K. Jarrod Millman, Nikolay Mayorov, Andrew R. J. Nelson, Eric Jones, Robert Kern, Eric Larson, C. J. Carey, İlhan Polat, Yu Feng, Eric W. Moore, Jake VanderPlas, Denis Laxalde, Josef Perktold, Robert Cimrman, Ian Henriksen, E. A. Quintero, Charles R. Harris, Anne M. Archibald, Antônio H. Ribeiro, Fabian Pedregosa, and Paul van Mulbregt. SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in python. *Nature Methods*, 17: 261–272, 2020.