

УДК 614.777:613.31(045)
DOI: 10.7868/25000640240111

МУЛЬТИФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗУЧЕНИЯ ЭПИДЕМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОСТРЫХ КИШЕЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

© 2024 г. Д.С. Новиков¹, А.Н. Головачева¹

Аннотация. Засушливые территории Волгоградской области благоприятны для распространения бактериальных возбудителей острых кишечных инфекций. На эпидемический процесс антропонозных инфекций с фекально-оральным механизмом передачи влияет экологическое состояние среды обитания человека. Для оценки качества водного объекта были выбраны показатели биологического потребления кислорода и спутниковые данные нормализованного разностного индекса мутности. Вклад природно-климатических факторов оценивали при помощи расчета гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова. Оценка выбранных характеристик проводили на территории трех зон Волгоградской городской агломерации, располагающихся ниже по течению Волги относительно Волжской гидроэлектростанции. На острове Голодном размещены очистные сооружения, эффективность работы которых влияет на степень распространения кишечных инфекций. В данном исследовании рассмотрена возможность использования экологических показателей в качестве индикаторов санитарного благополучия бассейна р. Волги в целях прогнозирования динамики эпидемического процесса острых кишечных инфекций неустановленной этиологии. Показатель заболеваемости выступил в качестве зависимой переменной в предложенной модели, в качестве влияющих переменных проанализированы три предиктора (биохимический, спутниковый и климатический), отражающие экологическое состояние акватории Волги. Наибольший вклад в прогностическую силу модели заболеваемости острыми кишечными инфекциями в изучаемой зоне вносит показатель биохимического потребления кислорода, который отражает степень загрязненности поверхностных вод коммунально-бытовым стоком. Показатель биохимического потребления кислорода лег в основу десятилетнего прогноза распространения острых кишечных инфекций. Были рассчитаны медианы значения прогноза динамики заболеваемости, а также интервальные величины для 95-го перцентиля. Полученные результаты могут быть использованы при корректировке мероприятий по оценке качества очистных сооружений в зоне Волгоградской городской агломерации.

Ключевые слова: острые кишечные инфекции, гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова, индекс мутности, индекс биохимического потребления кислорода, дистанционное зондирование Земли, юг России.

MULTIFACTOR MODEL APPLICATION FOR PREDICTING THE EPIDEMIC PROCESS OF ACUTE INTESTINAL INFECTIONS UNDER THE CONDITIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA

D.S. Novikov¹, A.N. Golovacheva¹

Abstract. The arid territories of Volgograd Region are favourable for the bacterial acute intestinal infections spread. The ecological state of the human environment influences the epidemic process of anthroponotic infections with a fecal-oral transmission mechanism. To examine the quality of the water body, the indicators of biochemical oxygen demand and satellite data of the normalized difference turbidity index were selected. The contribution of natural and climatic factors was evaluated using the calculation of the hydrothermal coefficient

¹ Волгоградский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения России (Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Volgograd, Russian Federation), Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, пл. Павших борцов, 1, e-mail: dennov89@mail.ru

by Selyaninov. The assessment of the selected characteristics was carried out on the territory of three zones of the Volgograd urban agglomeration, located downstream of the Volga Hydroelectric Power Plant. There is a sewage treatment plant on Golodny Island, the efficiency of which affects the spread of intestinal infections. This study examines the possibility of using environmental data as indicators of the sanitary well-being of the Volga River basin in order to predict the dynamics of the epidemic process of acute intestinal infections of the unknown aetiology. The incidence rate used as a dependent variable in the proposed model; three predictors reflecting the ecological state of the Volga water area (biochemical, satellite, and climatic) were analyzed as influencing variables. The study established that the greatest contribution to the model predictive power of the incidence of acute intestinal infections in the Volga region is made by the indicator of biochemical oxygen demand, which reflects the degree of surface waters contamination from sewage. The indicator of biochemical oxygen demand formed the basis for a ten-year forecast of the spread of acute intestinal infections. The study calculated the median of the forecast for the dynamics of morbidity, as well as the interval values of the 95th percentile. Our results can be used to adjust measures to assess the quality of sewage treatment plant in the Volgograd urban agglomeration zone.

Keywords: acute intestinal infections, hydrothermal coefficient by Selyaninov, normalized difference thermal index, biochemical oxygen demand index, remote sensing, South of Russia.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение особенностей эпидемического процесса острых кишечных инфекций – важная задача социально-гигиенического мониторинга. Одним из его компонентов является гидрологический мониторинг, который подразумевает мониторинг различных гидрологических характеристик по количественным и качественным показателям, мониторинг объемов водопотребления и водоотведения, а также наблюдение за санитарным состоянием водохозяйственных сооружений и водоохраных зон [1]. Данные гидрологической экспертизы широко применяются для оценки состояния водного объекта по показателям, отражающим риски роста заболеваемости инфекциями с фекально-оральным механизмом передачи. Анализ органического загрязнения вод проводят с использованием индекса биохимического потребления кислорода (БПК₅), который отражает количество кислорода, потраченное на процессы окисления органических веществ микроорганизмами, содержащимися в исследуемых образцах воды [2]. Кроме этого, в качестве еще одного источника достоверной информации о санитарном состоянии акватории могут выступить методы дистанционного зондирования Земли. Одним из показателей экологического благополучия поверхностных водных ресурсов является спутниковый индекс мутности (Normalized Difference Thermal Index, NDTI), связанный с наличием органических и неорганических дисперсных взвесей как природного, так и антропогенного генеза [3; 4].

На динамику распространения острых кишечных инфекций влияет изменение природно-кли-

матических факторов, среди которых температура воздуха имеет высокую корреляцию с выявлением случаев кишечных инфекций. Острым кишечным инфекциям бактериальной природы свойственна летняя сезонность – в теплое время года создаются благоприятные условия для реализации пищевого и водного путей передачи [5]. Подъем заболеваемости острыми кишечными инфекциями различной этиологии наблюдается в мае при среднемесячной температуре, превышающей +10 °С, и сохраняется на протяжении всех теплых месяцев.

Известно, что увеличение количества выпавших осадков может приводить к вымыванию возбудителей острых кишечных инфекций из почвы и распространению источников инфекций. При этом летний дефицит осадков способствует наступлению периода засухи, что снижает интенсивность процессов самоочищения источников водоснабжения и приводит к концентрированию возбудителей острых кишечных инфекций в недоброкачественной воде [6]. Для учета функции температуры и количества осадков может быть использован гидро-термический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК), опирающийся на период с устойчивыми положительными температурами воздуха [7].

Основной источник загрязнения бассейна Волги в зоне расположения Волгоградской городской агломерации – комплекс очистных сооружений на территории острова Голодного, принимающий коммунально-бытовые стоки из Тракторозаводского, Краснооктябрьского, Дзержинского, Центрального, Ворошиловского и Советского районов Волгограда. С целью снижения нагрузки на бассейн Волги со стороны загрязненных стоков в настоящее время

реализуется масштабный проект по модернизации и реконструкции данных сооружений. В настоящем исследовании предлагается мультифакторная модель, позволяющая оценить значимость различных показателей экологического благополучия водных ресурсов в прогнозировании эпидемического процесса острых кишечных инфекций и оценке качества модернизационных мероприятий, касающихся комплекса очистных сооружений [8].

Цель работы – проанализировать потенциал различных показателей качества среды обитания человека в прогнозировании динамики эпидемического процесса острых кишечных инфекций в аридных условиях южных территорий России.

Достижение заявленной исследовательской цели реализуется за счет поэтапного решения следующих задач:

1) расчет основных показателей, отражающих природно-климатические особенности изучаемого региона, по информации, содержащейся в спутниковых и климатологических базах данных дистанционного зондирования Земли;

2) математическая валидизация полученной прогнозной модели динамики эпидемического процесса острых кишечных инфекций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

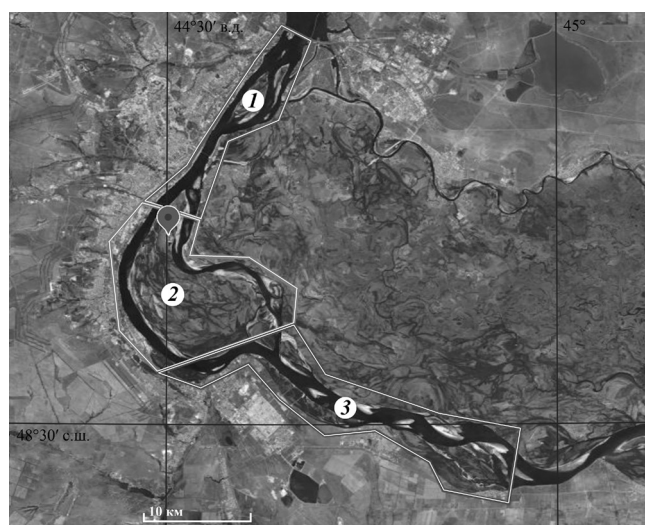
Объект исследования – эпидемический процесс острых кишечных инфекций в зоне хозяйственно-питьевого водозабора Волгоградской городской агломерации. В работе проанализирован вклад следующих показателей, характеризующих различные аспекты экологического благополучия территории, в формирование эпидемического процесса острых кишечных инфекций неустановленной этиологии (ОКИНЭ, зависимая переменная y) в период 2017–2022 гг.:

1. Климатический: гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК, предиктор x_1).

2. Спутниковый: индекс мутности (NDTI, предиктор x_2).

3. Обобщенный санитарно-гигиенический: биохимическое потребление кислорода гидромикроботой в течение 5 суток (БПК₅, предиктор x_3).

Низкий процент этиологической расшифровки в регионе обусловил необходимость использования данных показателей для уточнения эпидемической картины острых кишечных инфекций; в 2022 г. доля ОКИНЭ в сумме всех случаев острых кишечных инфекций составила 76 %, в 2021 – 83 %, в 2020 – 73 %, в 2019 – 70 %, в 2018 – 75 %.



① первая зона ② вторая зона ③ третья зона

● очистные сооружения на острове Голодном

Рис. 1. Район исследования в бассейне Волги в зоне расположения Волгоградской городской агломерации.

Fig. 1. Study area in the Volga basin in the zone of the Volgograd urban agglomeration.

Анализ динамики изучаемых факторов производился для территории трех зон бассейна Волги: первая зона находится в пределах 20 км вниз по течению Волги от Волжской гидроэлектростанции (ВГЭС, $S = 60 \text{ км}^2$); вторая зона ассоциирована с локализацией очистных сооружений коммунально-бытового стока ООО «Концессии водоснабжения» на острове Голодном (20–40 км ниже ВГЭС, $S = 154 \text{ км}^2$); третья зона расположена на расстоянии 40–70 км ниже ВГЭС ($S = 146 \text{ км}^2$) (рис. 1).

Источником входных данных для расчета ГТК выступила модель климатического реанализа ERA5-Land. Расчет сумм температур и осадков был проведен для месяцев с температурами, превышающими порог $t_{\text{ср. мес.}} > 10^\circ\text{C}$, что обусловлено периодами наибольшей активности возбудителей бактериальных острых кишечных инфекций. Формула расчета имеет следующий вид:

$$\text{ГТК} = \frac{(\sum P)}{(0,1 \cdot \sum t)},$$

где P – сумма осадков за период с температурами выше 10°C (мм); t – сумма среднесуточных температур за то же время ($^\circ\text{C}$).

Индекс мутности NDTI был рассчитан в программном пакете QGIS 3.22 на основе базы данных результатов дистанционного зондирования Земли EarthExplorer (спутниковый каталог Landsat-8-9

Collection OLI/TIRS C2 L2), отобраны снимки с показателем CloudCover ≤ 20 %. Анализ метаданных снимков проводился с помощью третьего (Green) и четвертого (Red) спектральных каналов по формуле:

$$NDTI = \frac{(Red - Green)}{(Red + Green)}.$$

Многолетняя динамика значений показателя БПК₅ оценивалась по сведениям, предоставленным Волгоградским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, всего было проанализировано 216 проб воды из р. Волги. Анализ уровня заболеваемости ОКИНЭ населения, проживающего на территории Волгоградской агломерации, выполнен на основе ежегодных отчетов федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области».

С целью определения статистической адекватности включения трех выборок-предикторов (ГТК, x_1 ; NDTI, x_2 ; БПК₅, x_3) в модель прогнозирования динамики эпидемического процесса ОКИНЭ для каждой из трех изучаемых зон бассейна Волги было построено уравнение множественной регрессии (R_{y, x_1, x_2, x_3}), определен коэффициент детерминации (R^2), рассчитаны индивидуальные значения критерия значимости (p). Все результаты статистической обработки принимались значимыми при $p < 0,05$. Прогнозирование значений зависимой переменной (ОКИНЭ, y) в десятилетней перспективе было выполнено путем построения временного ряда предикторов (горизонт t_{10}) с помощью модели авторегрессии ARIMA (получены прогнозные значения по медиане и на уровне 95-го перцентиля).

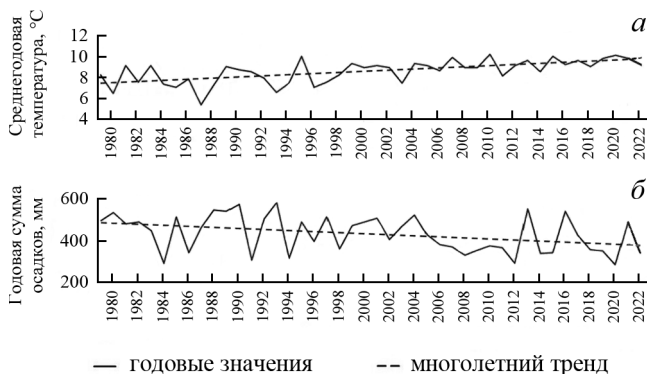


Рис. 2. Многолетняя динамика температуры (а) и количества осадков (б) в зоне Волгоградской городской агломерации.
Fig. 2. Long-term dynamics of temperature (a) and precipitation (b) in the Volgograd urban agglomeration zone.

В целях повышения надежности результатов исследования статистическая значимость уравнения линейного временного тренда дополнительно оценивалась с помощью критерия Фишера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Природные условия аридных зон Волгоградской области благоприятствуют росту эпидемической заболеваемости острыми кишечными инфекциями бактериальной природы. Для территории, занимаемой Волгоградской городской агломерацией, характерен многолетний устойчивый тренд к нарастанию засушливости, что проявляется в положительной динамике среднегодовых температур и снижении годовой суммы осадков в многолетнем диапазоне. Согласно моделированию ERA5 в исследуемом регионе наблюдается устойчивый положительный температурный тренд (+6,38 %) и тенденция к сокращению количества атмосферных осадков (–7,55 %) в течение последнего десятилетия (рис. 2).

Известно, что увеличение нагрузки поверхностных вод грубодисперсными биологическими примесями коммунально-бытового стока приводит к росту популяции экологически ассоциированной с мутностью патогенной микробиоты [9]. Наблюдаемые высокие значения NDTI (приближающиеся к нулю) отражают увеличение мутности, в то время как отрицательные величины свидетельствуют о повышении прозрачности воды. Математически индекс NDTI способен принимать значения от –1 до 1, однако экспериментально установлено, что в зоне чистых вод значения NDTI варьируют от –0,1 до 0; диапазон 0–0,1 соответствует умеренной мутности [10].

При построении одноканальных псевдоцветных изображений, визуализирующих пространственное распределение индекса мутности в зоне исследуемой территории, в качестве минимальных и максимальных значений наложения градиента были указаны значения NDTI –0,1 (min) и 0,1 (max). Результаты программной обработки спутниковых снимков в спектральных каналах Red и Green представлены на рисунке 3.

В течение изучаемого периода нами отмечено снижение уровня мутности воды, что проявляется в общей тенденции к смещению значений NDTI в сторону зеленой области спектра. Во всех выбранных зонах речная вода демонстрировала умеренную прозрачность (значения NDTI находились в

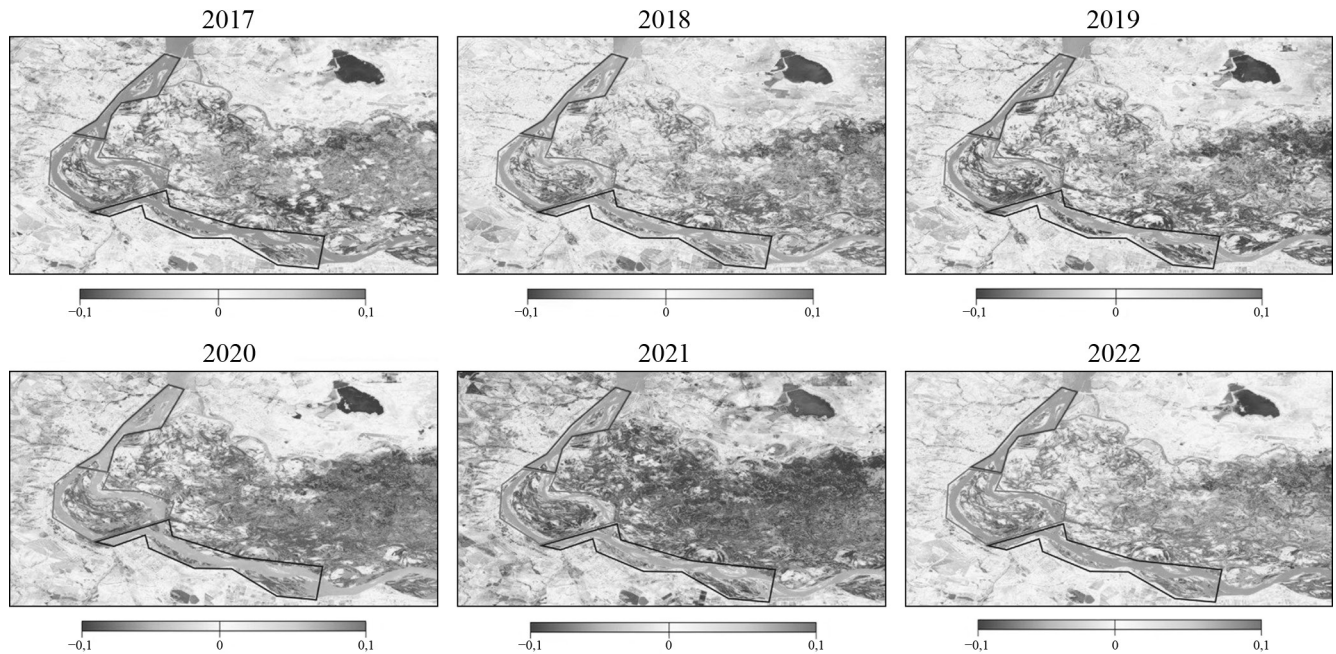


Рис. 3. Растровые карты изучаемой территории с зональной статистикой индекса мутности NDTI (2017–2022 гг.).
Fig. 3. Raster maps of the study area with zonal statistics of the NDTI turbidity index (2017–2022).

диапазоне от $-0,038$ до $-0,054$). Наиболее высокие значения мутности были зарегистрированы во второй зоне, что может объясняться повышенной концентрацией недостаточно очищенных стоков в районе локализации очистных сооружений канализации на острове Голодном.

Значения БПК₅ для всех трех зон не превышают установленных норм СанПиН 1.2.3685-21 (предельно допустимая концентрация (ПДК) составляет не более $2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ для воды поверхностных водоисточников, используемых для централизованного водоснабжения населения, а также в целях хозяйственно-бытового водопользования) в течение 2017–2022 гг. [11]. Максимальные значения БПК₅ на изучаемой территории составили 0,99 ПДК, минимальные – 0,72 ПДК. Согласно установленным санитарным нормам по показателю БПК₅, водный объект считается благополучным, что соотносится с тенденцией к снижению уровня ОКИНЭ в течение 6 лет. Анализ динамики спутниковых, климатических и санитарно-гигиенических предикторов заболеваемости позволил перейти к построению прогностической модели, отражающей вклад трех предикторов в эпидемический процесс ОКИНЭ.

На первом этапе статистической обработки материалов исследования нами были проверены выборки показателя заболеваемости на нормальность.

Критерий Шапиро – Уилка не выявил значительного отклонения вероятностей от нормального распределения ($W_6 = 0,85$, $p = 0,191$), что позволило построить уравнение множественной линейной регрессии в стандартном масштабе. Значения трех показателей-предикторов, ГТК (x_1), NDTI (x_2), БПК₅ (x_3), а также характеристика силы корреляционных связей между данными влияющими переменными и зависимой величиной ОКИНЭ (y) представлены в таблице 1. Расчет значений p -критерия свидетельствовал о том, что полученные результаты являются значимыми для первой и второй зон (при $p < 0,05$). Анализ индивидуальных коэффициентов корреляции между предикторами и ОКИНЭ для каждого из трех уравнений регрессии позволил утверждать адекватность включения в итоговую прогностическую модель только одной из влияющих переменных – БПК₅ (x_3). Согласно шкале Чеддока – Снедекора коэффициенты корреляции между x_3 и y находились в области очень высоких величин в первой и второй зоне водозабора, для третьей же взаимосвязь была статистически незначимой ($p = 0,072$) (табл. 1).

На заключительном этапе обработки полученных результатов нами было выполнено построение уравнений временных трендов для математически наиболее надежного предиктора (БПК₅, x_3) в рассматриваемой модели, незначимые переменные

Таблица 1. Корреляционные связи между исследуемыми показателями
Table 1. Correlations between the studied indicators

Зоны водозабора / Water intake areas	Годы Years	ОКИНЭ, $p/100$ тыс., y / Acute intestinal infections of the unknown aetiology, $p/100$ ths (y)	ГТК (x_1) / Hydrothermal coefficient by Selyaninov (x_1)	NDTI (x_2)	БПК ₅ mgO_2/dm^3 , (x_3) / Biochemical oxygen demand, mgO_2/dm^3 (x_3)	Корреляция Correlation (r_{y, x_1, x_2, x_3} ; R^2)	p
Первая зона, 0–20 км от ВГЭС / The first zone, 0–20 km from the Volga Hydroelectric Power Plant	2017	347,1	0,93	–0,051	1,95	0,923; 0,853	0,009
	2018	339,6	1,24	–0,039	1,93		
	2019	287,7	1,54	–0,041	1,91		
	2020	143,6	1,55	–0,045	1,58		
	2021	136,4	1,64	–0,044	1,53		
	2022	185,1	1,38	–0,047	1,44		
	t_{10}	42,3 (ДИ/CI 167,3)	N/A*	N/A	1,22		
Вторая зона, 20–40 км от ВГЭС / The second zone, 20–40 km from the Volga Hydroelectric Power Plant	2017	347,1	0,93	–0,050	1,93	0,958; 0,919	0,003
	2018	339,6	1,24	–0,040	1,93		
	2019	287,7	1,54	–0,045	1,89		
	2020	143,6	1,55	–0,052	1,56		
	2021	136,4	1,64	–0,054	1,58		
	2022	185,1	1,38	–0,046	1,53		
	t_{10}	152,5 (ДИ/CI 252,1)	N/A	N/A	1,55		
Третья зона, 40–70 км от ВГЭС / The third zone, 40–70 km from the Volga Hydroelectric Power Plant	2017	347,1	0,93	–0,046	1,98	0,771; 0,595	0,072
	2018	339,6	1,24	–0,035	1,96		
	2019	287,7	1,54	–0,038	1,89		
	2020	143,6	1,55	–0,046	1,67		
	2021	136,4	1,64	–0,042	1,70		
	2022	185,1	1,38	–0,043	1,45		
	t_{10}	N/A	N/A	N/A	N/A		

Примечание. * N/A – данные по показателю исключены из модели.
Note. * N/A – data for this indicator is not applicable.

были исключены из дальнейшей процедуры прогнозирования. Проверка полученных результатов с помощью критерия Фишера показала статистическую значимость уравнений трендов для первой и второй зон ($F_{набл.} = 32,43$, $F_{крит.} = 7,71$; $F_{набл.} = 19,47$, $F_{крит.} = 7,71$ соответственно). Анализ детерминации свидетельствовал о том, что в исследуемой ситуации 82,96 % общей вариабельности предиктора БПК₅ для первой зоны и 82,96 % для второй зоны объяснялось изменением временного параметра. F-статистика для третьей зоны указывала на незначимость уравнения временного тренда ($F_{набл.} = 3,95$, $F_{крит.} = 7,71$) при детерминации переменной, рав-

ной 49,69 %. Для указанного горизонта прогнозирования (t_{10}) нами были получены значения заболеваемости ОКИНЭ в десятилетней перспективе в первой и второй зонах по средним величинам (точечный прогноз), а также по верхние границы 95%-го доверительного интервала (ДИ-прогноз). Третье уравнение тренда было отбраковано как незначимое (рис. 4).
В нашей работе был проанализирован потенциал некоторых спутниковых, климатических, а также санитарно-гигиенических индикаторов состояния среды обитания человека в прогнозировании роста эпидемической заболеваемости ОКИНЭ, выражен-

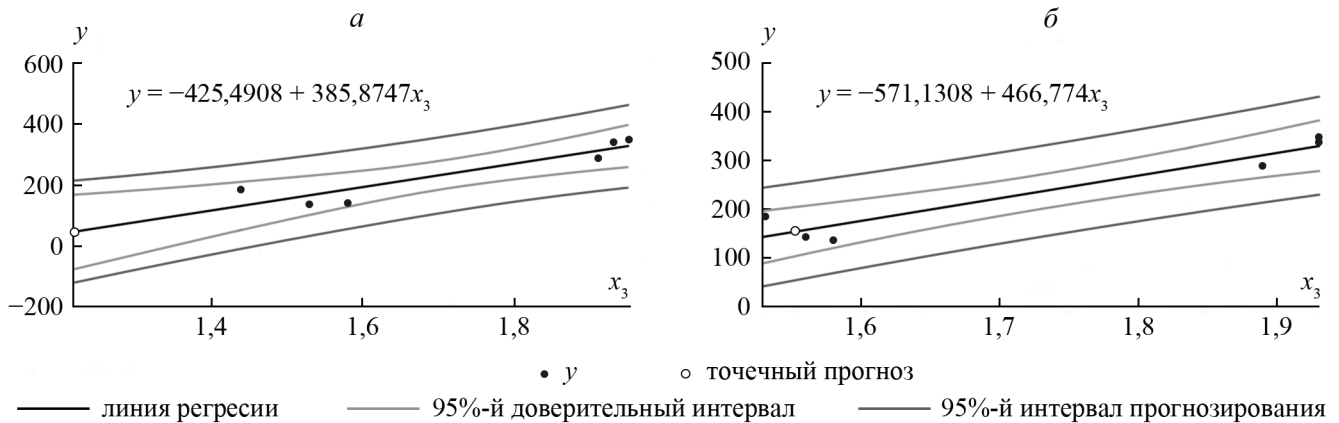


Рис. 4. Интервальные и точечные прогнозы зависимой переменной y (острых кишечных инфекций неустановленной этиологии) в первой (а) и второй (б) зонах.

Fig. 4. Interval and spot predictions of the dependent variable y (acute intestinal infections of the unknown aetiology) in the first (a) and the second (b) zones.

ных в виде показателей NDTI, ГТК и БПК₅ соответственно. По результатам анализа вклада каждого из показателей в динамику эпидемического процесса ОКИНЭ выявлено, что наиболее надежным предиктором в прогнозировании изменения уровня заболеваемости является санитарно-гигиеническое состояние реки, которое может быть оценено при помощи БПК₅. Наши данные согласуются с более ранними исследованиями Е.С. Сергеевой [12], сообщающей о высоком потенциале химического потребления кислорода и санитарно-гигиенических показателей Волги для оценки заболеваемости населения инфекциями с водным путем передачи на территории Саратова. Исследования С.В. Зелихиной с соавторами [13], посвященные эколого-географическим предпосылкам распространения лихорадки Западного Нила на территории Волгограда, также указывают на более низкий потенциал спутниковых индексов (NDVI, NDWI) в оценке ассоциированных с водными экосистемами трансмиссивных заболеваний по сравнению с социально-гигиеническими факторами.

В изучаемом отрезке времени доля расшифрованных случаев возникновения острых кишечных инфекций составляла 17–27 % от общего числа случаев [14]. Вместе с этим данные обзорного исследования [15] указывают на наличие устойчивой обратной связи между показателями аридности и кишечными инфекциями, вызванными вирусными возбудителями. Повышение уровня этиологической расшифровки острых кишечных инфекций способно улучшить качество полученных результатов и снять фактор неопределенности в их трактовке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общая тенденция к нарастанию аридности в регионах юга России ассоциирована с включенными в разработанную модель показателями, способными выступить в качестве предикторов роста эпидемической заболеваемости острыми кишечными инфекциями. Полученные данные подтверждают статистически значимую связь между заболеваемостью населения Волгограда ОКИНЭ и показателем БПК₅ в воде Волги, что позволяет использовать данный коэффициент в прогностической модели риска распространения острых кишечных инфекций. Климатические показатели состояния водного объекта (NDTI, ГТК) демонстрируют незначительную надежность по сравнению с БПК₅ в прогнозировании динамики распространения острых кишечных инфекций.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве рекомендаций к усилению контроля мощностей комплекса очистных сооружений со стороны надзорных органов Волгоградской области.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность главному врачу федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Волгоградской области» Н.М. Скаковскому и главному специалисту-эксперту отдела надзора за условиями труда и радиационной безопасности Управления Роспотребнадзора по Волгоградской области Л.П. Руруа за предоставление данных о структуре инфекционной заболеваемости в Волгоградской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поваляшников Е.С., Ефимова Л.Е., Головлева В.О. 2013. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга водных объектов в пределах ООПТ. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 11–2: 99–106.
2. Татарникова Н.А., Кочетова О.В., Сидорова К.А., Юрина Т.А., Матвеева А.А. 2022. Некоторые вопросы оценки качества воды городского водозабора. *Московский экономический журнал*. 7(5): 23. doi: 10.55186/2413046X_2022_7_5_283
3. Лупян Е.А., Константинова А.М., Кашницкий А.В., Ермаков Д.М., Саворский В.П., Панова О.Ю., Бриль А.А. 2022. Возможности организации долговременного дистанционного мониторинга крупных источников антропогенных загрязнений для оценки их влияния на окружающую среду. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 19(1): 193–213. doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-193-213
4. Преснякова А.Н., Писарев А.В., Храпов С.С. 2017. Исследование динамики затопления территории Волго-Ахтубинской поймы по данным космического мониторинга. *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика*. 1(38): 66–74. doi: 10.15688/jvolsu1.2017.1.7
5. Малыш Н.Г., Доан С.И. 2017. Использование факторного анализа при исследовании эпидемического процесса острых кишечных инфекций. *Гигиена и санитария*. 96(6): 519–523. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-519-523
6. Селезнев В.А., Селезнева А.В., Рахуба А.В., Шемонаев Е.В., Кириленко Е.В., Шерышева Н.Г., Беспалова К.В., Мухортובה О.В., Головатюк Л.В., Кривина Е.С., Буркова Т.Н., Тихонова Л.Г. 2018. Комплексная оценка экологического состояния малых рек (на примере реки Подстепновки). *Водное хозяйство России*. 6: 83–100. doi: 10.35567/1999-4508-2018-6-7
7. Шумова Н.А. 2021. Количественные показатели климата в приложении к оценке гидротермических условий в Республике Калмыкия. *Аридные экосистемы*. 27(4(89)): 13–24. doi: 10.24412/1993-3916-2021-4-13-24
8. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2022 году. 2023. Волгоград, ТЕМПОРА: 300 с.
9. Зацаринная Е.А., Круглова А.П., Ефремова Е.С., Калчугина В.Д., Трунякова А.С. 2017. Изменчивость антибиотикорезистентности общих колиформных бактерий, выделенных из реки-приёмника очищенных сточных вод. *Теоретическая и прикладная экология*. 2: 59–64.
10. Морозова В.А. 2019. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования. *Современные проблемы территориального развития*. 2: 9.
11. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. N 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями и дополнениями от 30 декабря 2022 г.). *Гарант*. URL: <https://base.garant.ru/400274954/>
12. Сергеева Е.С. 2014. Значение санитарно-гигиенических показателей качества воды источников водоснабжения при оценке инфекционной заболеваемости населения. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 10(3): 369–372.
13. Зелихина С.В., Шартова Н.В., Миронова В.А., Варенцов М.И. 2021. Эколого-географические предпосылки распространения лихорадки Западного Нила в России. *Экосистемы: экология и динамика*. 5(1): 132–150. doi: 10.24411/2542-2006-2021-10081
14. Науменко О.А., Карпова Е.А. 2020. Комплексная оценка экологического состояния и химико-биологических свойств водоемов Мелеузовского района Республики Башкортостан. В кн.: *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием) (Оренбург, 23–25 января 2020 г.)*. Оренбург, изд-во Оренбургского государственного университета: 2567–2571.
15. Chua P.L.C., Huber V., Ng Fook Sheng Ch., Seposo X.T., Madaniyazi L., Hales S., Woodward A., Hashizume M. 2021. Global projections of temperature-attributable mortality due to enteric infections: a modelling study. *Lancet Planet Health*. 5(7): e436–445. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00152-2

REFERENCES

1. Povalishnikova E.S., Efimova L.E., Golovleva V.O. 2013. [Application of remote sensing methods for monitoring water bodies within protected areas]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 11–2: 99–106. (In Russian).
2. Tatarnikova N.A., Kochetova O.V., Sidorova C.A., Yurina T.A., Matveeva A.A. 2022. [Some issues of water quality assessment of urban water intake]. *Moscow Economic Journal*. 7(5): 23. (In Russian). doi: 10.55186/2413046X_2022_7_5_283
3. Loupian E.A., Konstantinova A.M., Kashnitskii A.V., Ermakov D.M., Savorskiy V.P., Panova O.Yu., Bril A.A. 2022. [The possibilities of organizing long-term remote monitoring of large sources of anthropogenic pollution to assess their impact on the environment]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 19(1): 193–213. (In Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-193-213
4. Presnyakova A.N., Pisarev A.V., Khrapov S.S. 2017. [The flooding dynamics of the Volga-Akhtuba floodplain during spring flood using space monitoring]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1: Matematika. Fizika*. 1(38): 66–74. (In Russian). doi: 10.15688/jvolsu1.2017.1.7
5. Malyshev N.G., Doan S.I. 2017. [The application of factor analysis in the study of the epidemic process of acute intestinal infections]. *Gigiena i sanitariya*. 96(6): 519–523. (In Russian). doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-519-523
6. Seleznev V.A., Selezneva A.V., Rakhuba A.V., Shemonaev E.V., Kirilenko E.V., Sherysheva N.G., Bepalova K.V., Mukhortova O.V., Golovatyuk L.V., Krivina E.S., Burkova T.N., Tikhonova L.G. 2018. [Integrated assessment of the small rivers ecological status (the Podstepnovka River as a study case)]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 6: 83–100. (In Russian). doi: 10.35567/1999-4508-2018-6-7
7. Shumova N.A. 2021. Quantitative climate indicators as applied to the assessment of hydrothermal conditions in the Republic of Kalmykia. *Arid Ecosystems*. 11(4): 327–336. doi: 10.1134/S2079096121040120

8. *Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2022 godu*. [Report on the state of the environment in Volgograd Region in 2022]. Volgograd, TEMPORA: 300 p. (In Russian).
9. Zatsarinna E.A., Kruglova A.P., Efremova E.S., Kalchugina V.D., Trunyakova A.S. 2017. [Variability of antibiotic resistance of total coliform bacteria isolated from the river that is a receiver of treated wastewater]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2: 59–64. (In Russian).
10. Morozova V.A. 2019. [Calculation of indices for the analysis of water objects according to remote sensing data]. *Sovremennye problemy territorial'nogo razvitiya*. 2: 9. (In Russian).
11. [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 2 "On approval of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans" (as amended and amendments dated December 30, 2022)]. *Garant*. Available at: <https://base.garant.ru/400274954/>
12. Sergeeva E.S. 2014. [Significance of the sanitary-hygienic indicators of the water source quality for the assessment of the morbidity of infectious diseases]. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 10(3): 369–372. (In Russian).
13. Zelikhina S.V., Shartova N.V., Mironova V.A., Varentsov M.I. 2021. [Ecological and geographical prerequisites for the spread of West Nile fever in Russia]. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*. 5(1): 132–150. (In Russian). doi: 10.24411/2542-2006-2021-10081
14. Naumenko O.A., Karpova E.A. 2020. [Comprehensive assessment of the ecological state and chemical and biological properties of reservoirs in Meleuz District of the Republic of Bashkortostan]. In: *Universitetskiy kompleks kak regional'nyy tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury: Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)*. [University complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian scientific and methodological conference (with international participation) (Orenburg, Russia, 23–25 January 2020)]. Orenburg, Orenburg State University: 2567–2571. (In Russian).
15. Chua P.L.C., Huber V., Ng Fook Sheng Ch., Seposo X.T., Madaniyazi L., Hales S., Woodward A., Hashizume M. 2021. Global projections of temperature-attributable mortality due to enteric infections: a modelling study. *Lancet Planet Health*. 5(7): e436–445. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00152-2

Поступила 13.11.2023