

Ившин А.А., Болдина Ю.С., Малышев Н.А. Сравнительная эффективность восьми алгоритмов машинного обучения и модели конкурирующих рисков FMF для прогнозирования преэклампсии в первом триместре: многоцентровое когортное исследование с внешней валидацией. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2026;20(4):–. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2026.729>.

Приложение 1. Полная матрица дискриминации и калибровки: все модели × все уровни.

Ivshin A.A., Boldina Yu.S., Malyshev N.A. Comparative effectiveness of eight machine learning algorithms and the FMF competing risks model for first-trimester prediction of preeclampsia: a multicenter cohort study with external validation. *Akusherstvo, Ginekologiya i Reprodukcia = Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2026;20(4):–. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2026.729>.

Appendix 1. Full discrimination and calibration matrix: all models × all levels.

Приложение 1.1. Ранняя преэклампсия (ПЭ): количество событий = 70, соотношение числа событий на переменную (EPV) для модели M4 = 3,7.

Appendix 1.1. Early-onset preeclampsia (PE): number of events = 70, events per variable (EPV) for the M4 model = 3,7.

Алгоритм Algorithm	Уровень Level	AUC	[95 % ДИ] [95 % CI]	DR@10 %	[95 % ДИ] [95 % CI]	AUPRC	[95 % ДИ] [95 % CI]	Оценка Бриера Brier score	О:Е	Калибровочный наклон CalSlope
Уровень M0: материнские факторы (15 предикторов) / Level M0: maternal factors (15 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M0	0,890	0,847–0,928	0,671	0,555–0,783	0,122	0,076–0,204	0,0088	0,99	0,92
Эластическая сеть / Elastic Net	M0	0,882	0,840–0,921	0,671	0,558–0,784	0,109	0,069–0,177	0,0093	1,00	1,00
Случайный лес/ Random Forest	M0	0,857	0,815–0,896	0,585	0,466–0,695	0,074	0,045–0,129	0,0088	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M0	0,886	0,846–0,922	0,657	0,539–0,769	0,093	0,060–0,154	0,0087	0,99	1,01
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M0	0,855	0,812–0,893	0,557	0,431–0,672	0,061	0,040–0,102	0,0089	1,01	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M0	0,794	0,735–0,850	0,514	0,394–0,633	0,047	0,029–0,086	0,0090	1,00	1,00

Многослойный перцептрон / MLP	M0	0,790	0,736–0,840	0,414	0,303–0,545	0,040	0,023–0,088	0,0092	1,00	0,96
Ансамблевое обучение / Stacking	M0	0,860	0,810–0,902	0,614	0,500–0,733	0,070	0,045–0,119	0,0090	1,00	1,00
<i>Априорный риск FMF / FMF prior</i>	<i>M0</i>	<i>0,908</i>	<i>0,876–0,937</i>	<i>0,700</i>	<i>0,596–0,811</i>	<i>0,133</i>	<i>0,080–0,221</i>	<i>0,0086</i>	<i>1,12</i>	<i>1,19</i>
Уровень M2: + MAP, UtAPI (17 предикторов) / Level M2: + MAP, UtAPI (17 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M2	0,969	0,955–0,980	0,914	0,843–0,974	0,384	0,273–0,518	0,0071	0,99	0,93
Эластическая сеть / Elastic Net	M2	0,919	0,875–0,956	0,857	0,768–0,935	0,171	0,119–0,233	0,0080	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M2	0,950	0,931–0,965	0,857	0,767–0,942	0,228	0,147–0,349	0,0080	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M2	0,948	0,931–0,963	0,842	0,741–0,916	0,201	0,128–0,306	0,0081	1,00	1,01
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M2	0,952	0,932–0,969	0,842	0,750–0,923	0,252	0,167–0,361	0,0079	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M2	0,909	0,871–0,943	0,785	0,675–0,870	0,217	0,140–0,329	0,0080	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M2	0,467	0,408–0,527	0,128	0,055–0,215	0,046	0,010–0,105	0,0091	1,00	0,96
Ансамблевое обучение / Stacking	M2	0,949	0,914–0,973	0,871	0,782–0,950	0,316	0,215–0,443	0,0076	1,00	1,00
Уровень M4: + PIGF, PAPP-A (19 предикторов) / Level M4: + PIGF, PAPP-A (19 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M4	0,976	0,966–0,984	0,928	0,869–0,986	0,427	0,307–0,558	0,0068	0,99	0,92
Эластическая сеть / Elastic Net	M4	0,916	0,872–0,954	0,857	0,765–0,934	0,168	0,121–0,222	0,0079	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M4	0,958	0,940–0,972	0,900	0,802–0,963	0,276	0,186–0,397	0,0077	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M4	0,954	0,937–0,968	0,871	0,780–0,942	0,268	0,174–0,389	0,0078	1,00	1,01
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M4	0,954	0,927–0,975	0,885	0,802–0,956	0,320	0,218–0,444	0,0074	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M4	0,928	0,891–0,956	0,785	0,676–0,875	0,270	0,179–0,393	0,0077	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M4	0,826	0,778–0,869	0,428	0,310–0,553	0,159	0,084–0,270	0,0089	1,00	0,96
Ансамблевое обучение / Stacking	M4	0,959	0,937–0,977	0,900	0,819–0,964	0,388	0,275–0,528	0,0070	1,00	1,00
<i>Апостериорный риск FMF / FMF posterior</i>	<i>M4</i>	<i>0,955</i>	<i>0,935–0,973</i>	<i>0,871</i>	<i>0,783–0,943</i>	<i>0,372</i>	<i>0,259–0,494</i>	<i>0,0076</i>	<i>0,55</i>	<i>1,02</i>

Примечание: ПЭ – преэклампсия; AUC – площадь под ROC-кривой; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал (рассчитан методом бутстрэпа, 2000 итераций); DR@10 % FPR – доля выявления при 10 % ложноположительных результатов; AUPRC – площадь под кривой точность–полнота; Brier – оценка Бриера, показатель калибровки вероятностных прогнозов (чем меньше, тем лучше); О:Е – отношение наблюдаемых к ожидаемым событиям, идеальное значение = 1,00 (значения вне диапазона 0,8–1,2 выделены красным шрифтом); Калибровочный наклон — наклон калибровочной кривой, идеальное значение = 1,00; M0 – только материнские факторы (15 предикторов); M2 – M0 + биофизические маркеры (МАР – среднее артериальное давление, UtAPI – пульсационный индекс маточных артерий); M4 – M2 + биохимические маркеры (PIGF – плацентарный фактор роста, PAPP-A – ассоциированный с беременностью протеин-А плазмы); EPV – число событий на переменную, для модели M4 EPV = 3,7; XGBoost – экстремальный градиентный бустинг; LightGBM – легкий градиентный бустинг; MLP – многослойный перцептрон; FMF – Фонд фетальной медицины; prior – априорный риск; posterior – апостериорный риск; курсивом выделены референсные модели FMF.

Note: PE – preeclampsia; AUC – area under the ROC curve; 95 % CI – 95 % confidence interval (calculated using bootstrap, 2,000 iterations); DR@10 % FPR – detection rate at 10 % false positive rate; AUPRC – area under the precision–recall curve; Brier – Brier score (lower values indicate better calibration); O:E – observed-to-expected ratio (ideal value = 1.00; values outside 0.8–1.2 are highlighted in red and bold); CalSlope – calibration slope (ideal value = 1.00); M0 – maternal factors only (15 predictors); M2 – M0 + biophysical markers (MAP – mean arterial pressure, UtAPI – uterine artery pulsatility index); M4 – M2 + biochemical markers (PIGF – placental growth factor, PAPP-A – pregnancy-associated plasma protein-A); EPV – events per variable (for M4 model, EPV = 3.7); XGBoost – Extreme Gradient Boosting; LightGBM – Light Gradient Boosting Machine; MLP – multilayer perceptron; FMF – Fetal Medicine Foundation; prior – prior risk; posterior – posterior risk; FMF reference models are highlighted in italic values.

Приложение 1.2. Поздняя преэклампсия (ПЭ): количество событий = 361, соотношение числа событий на переменную (EPV) для модели M4 = 19,0.

Appendix 1.2. Late-onset preeclampsia (PE): number of events = 361, events per variable (EPV) for the M4 model = 19.0.

Алгоритм Algorithm	Уровень Level	AUC	[95 % ДИ] [95 % CI]	DR@10 %	[95 % ДИ] [95 % CI]	AUPRC	[95 % ДИ] [95 % CI]	Оценка Бриера Brier score	О:Е	Калибровочный наклон CalSlope
Уровень M0: материнские факторы (15 предикторов) / Level M0: maternal factors (15 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M0	0,813	0,792–0,834	0,457	0,403–0,514	0,184	0,156–0,221	0,0425	1,00	0,97
Эластическая сеть / Elastic Net	M0	0,802	0,780–0,824	0,451	0,398–0,504	0,164	0,139–0,196	0,0435	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M0	0,816	0,797–0,836	0,426	0,374–0,482	0,178	0,150–0,215	0,0419	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M0	0,827	0,807–0,846	0,476	0,412–0,530	0,182	0,155–0,219	0,0421	1,00	1,00

Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M0	0,806	0,785–0,827	0,426	0,370–0,478	0,165	0,139–0,198	0,0423	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M0	0,788	0,765–0,811	0,423	0,371–0,475	0,165	0,139–0,202	0,0424	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M0	0,509	0,482–0,534	0,069	0,044–0,099	0,059	0,047–0,079	0,0453	1,00	0,90
Ансамблевое обучение / Stacking	M0	0,815	0,795–0,835	0,448	0,398–0,505	0,177	0,150–0,213	0,0421	1,00	1,00
<i>Априорный риск FMF / FMF prior</i>	<i>M0</i>	0,821	0,801–0,841	0,462	0,404–0,523	0,180	0,153–0,216	0,0455	5,77	0,86
Уровень M2: + MAP, UtAPI (17 предикторов) / Level M2: + MAP, UtAPI (17 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M2	0,818	0,798–0,840	0,448	0,389–0,504	0,187	0,158–0,225	0,0425	1,00	0,96
Эластическая сеть / Elastic Net	M2	0,817	0,797–0,837	0,465	0,413–0,521	0,176	0,150–0,210	0,0431	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M2	0,820	0,801–0,840	0,437	0,388–0,497	0,177	0,149–0,213	0,0419	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M2	0,830	0,811–0,849	0,459	0,401–0,514	0,185	0,158–0,223	0,0420	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M2	0,812	0,792–0,832	0,451	0,390–0,506	0,166	0,141–0,200	0,0422	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M2	0,783	0,759–0,805	0,398	0,341–0,451	0,154	0,130–0,189	0,0427	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M2	0,541	0,511–0,570	0,074	0,049–0,105	0,051	0,044–0,062	0,0453	1,00	0,90
Ансамблевое обучение / Stacking	M2	0,817	0,796–0,837	0,457	0,400–0,508	0,182	0,154–0,220	0,0421	1,00	1,00
Уровень M4: + PIGF, PAPP-A (19 предикторов) / Level M4: + PIGF, PAPP-A (19 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M4	0,837	0,818–0,856	0,526	0,470–0,581	0,209	0,178–0,248	0,0419	1,00	0,96
Эластическая сеть / Elastic Net	M4	0,828	0,809–0,847	0,501	0,454–0,566	0,189	0,161–0,226	0,0428	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M4	0,834	0,815–0,852	0,504	0,452–0,559	0,201	0,170–0,244	0,0412	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M4	0,841	0,823–0,859	0,504	0,443–0,554	0,202	0,171–0,243	0,0417	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M4	0,826	0,806–0,845	0,462	0,410–0,519	0,190	0,161–0,227	0,0415	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M4	0,805	0,783–0,826	0,429	0,376–0,481	0,185	0,154–0,227	0,0419	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M4	0,565	0,538–0,591	0,138	0,099–0,173	0,067	0,055–0,085	0,0452	1,00	1,00
Ансамблевое обучение / Stacking	M4	0,832	0,812–0,851	0,473	0,425–0,539	0,205	0,173–0,248	0,0414	1,00	1,00
<i>Апостериорный риск FMF / FMF posterior</i>	<i>M4</i>	0,807	0,784–0,828	0,451	0,402–0,509	0,188	0,159–0,227	0,0447	2,84	0,54

Примечание: ПЭ – преэклампсия; AUC – площадь под ROC-кривой; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал (рассчитан методом бутстрэпа, 2000 итераций); DR@10 % FPR – доля выявления при 10 % ложноположительных результатов; AUPRC – площадь под кривой точность–полнота; Brier – оценка Бриера, показатель калибровки вероятностных прогнозов (чем меньше, тем лучше); О:Е – отношение наблюдаемых к ожидаемым событиям, идеальное значение = 1,00 (значения вне диапазона 0,8–1,2 выделены красным шрифтом); Калибровочный наклон — наклон калибровочной кривой, идеальное значение = 1,00; M0 – только материнские факторы (15 предикторов);

M2 – M0 + биофизические маркеры (MAP – среднее артериальное давление, UtAPI – пульсационный индекс маточных артерий); M4 – M2 + биохимические маркеры (PlGF – плацентарный фактор роста, PAPP-A – ассоциированный с беременностью протеин-А плазмы); EPV – число событий на переменную, для модели M4 EPV = 19,0, что соответствует рекомендуемому порогу, поэтому оценки дискриминации являются стабильными; XGBoost – экстремальный градиентный бустинг; LightGBM – легкий градиентный бустинг; MLP – многослойный перцептрон; FMF – Фонд фетальной медицины; prior – априорный риск; posterior – апостериорный риск; курсивом выделены референсные модели FMF.

Note: PE – preeclampsia; AUC – area under the ROC curve; 95 % CI – 95 % confidence interval (calculated using bootstrap, 2,000 iterations); DR@10 % FPR – detection rate at 10 % false positive rate; AUPRC – area under the precision–recall curve; Brier – Brier score (lower values indicate better calibration); O:E – observed-to-expected ratio (ideal value = 1.00; values outside 0.8–1.2 are highlighted in red and bold); CalSlope – calibration slope (ideal value = 1.00); M0 – maternal factors only (15 predictors); M2 – M0 + biophysical markers (MAP – mean arterial pressure, UtAPI – uterine artery pulsatility index); M4 – M2 + biochemical markers (PlGF – placental growth factor, PAPP-A – pregnancy-associated plasma protein-A); EPV – events per variable (for M4 model, EPV= 19.0, which meets the recommended threshold; therefore, discrimination estimates are stable); XGBoost – Extreme Gradient Boosting; LightGBM – Light Gradient Boosting Machine; MLP – multilayer perceptron; FMF – Fetal Medicine Foundation; prior – prior risk; posterior – posterior risk; FMF reference models are highlighted in italic values.

Приложение 1.3. Тяжелая преэклампсия (ПЭ): количество событий = 165, соотношение числа событий на переменную (EPV) для модели M4 = 8,7.

Appendix 1.3. Severe preeclampsia (PE): number of events = 165, events per variable (EPV) for the M4 model = 8.7.

Алгоритм Algorithm	Уровень Level	AUC	[95 % ДИ] [95 % CI]	DR@10 %	[95 % ДИ] [95 % CI]	AUPRC	[95 % ДИ] [95 % CI]	Оценка Бриера Brier score	O:E	Калибровочный наклон CalSlope
Уровень M0: материнские факторы (15 предикторов) / Level M0: maternal factors (15 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M0	0,797	0,762–0,831	0,430	0,349–0,510	0,096	0,071–0,135	0,0207	1,00	0,89
Эластическая сеть / Elastic Net	M0	0,776	0,738–0,812	0,418	0,340–0,505	0,084	0,063–0,117	0,0213	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M0	0,799	0,767–0,828	0,393	0,317–0,465	0,087	0,066–0,121	0,0205	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M0	0,809	0,777–0,838	0,412	0,337–0,493	0,096	0,071–0,132	0,0205	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M0	0,784	0,750–0,816	0,393	0,316–0,465	0,083	0,061–0,119	0,0206	1,00	1,00

Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M0	0,749	0,714–0,782	0,321	0,248–0,397	0,064	0,048–0,090	0,0209	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M0	0,678	0,637–0,720	0,278	0,206–0,349	0,041	0,033–0,055	0,0214	1,00	0,94
Ансамблевое обучение / Stacking	M0	0,786	0,752–0,819	0,369	0,299–0,448	0,086	0,063–0,125	0,0207	1,00	1,00
<i>Априорный риск FMF / FMF prior</i>	<i>M0</i>	0,822	0,789–0,850	0,454	0,368–0,538	0,102	0,076–0,140	0,0209	2,64	0,84
Уровень M2: + MAP, UtAPI (17 предикторов) / Level M2: + MAP, UtAPI (17 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M2	0,857	0,825–0,885	0,612	0,534–0,697	0,205	0,151–0,276	0,0192	1,00	0,92
Эластическая сеть / Elastic Net	M2	0,845	0,814–0,874	0,569	0,483–0,653	0,120	0,093–0,158	0,0212	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M2	0,866	0,839–0,890	0,593	0,515–0,670	0,158	0,116–0,218	0,0196	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M2	0,861	0,834–0,885	0,575	0,496–0,650	0,157	0,116–0,216	0,0198	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M2	0,851	0,821–0,877	0,575	0,497–0,648	0,167	0,123–0,228	0,0196	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M2	0,817	0,783–0,849	0,551	0,463–0,620	0,140	0,101–0,194	0,0200	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M2	0,746	0,709–0,780	0,284	0,210–0,357	0,078	0,053–0,120	0,0208	1,00	1,00
Ансамблевое обучение / Stacking	M2	0,851	0,818–0,880	0,618	0,543–0,693	0,193	0,142–0,262	0,0194	1,00	1,00
Уровень M4: + PIGF, PAPP-A (19 предикторов) / Level M4: + PIGF, PAPP-A (19 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M4	0,884	0,857–0,908	0,697	0,627–0,767	0,255	0,188–0,327	0,0186	1,00	0,93
Эластическая сеть / Elastic Net	M4	0,873	0,842–0,899	0,666	0,585–0,737	0,200	0,152–0,268	0,0193	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M4	0,885	0,861–0,907	0,648	0,563–0,720	0,206	0,155–0,274	0,0191	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M4	0,882	0,858–0,903	0,648	0,557–0,723	0,193	0,145–0,258	0,0193	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M4	0,875	0,848–0,899	0,618	0,539–0,690	0,215	0,162–0,288	0,0189	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M4	0,848	0,817–0,877	0,593	0,520–0,673	0,185	0,138–0,251	0,0194	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M4	0,714	0,680–0,746	0,266	0,198–0,340	0,097	0,060–0,146	0,0209	1,00	1,00
Ансамблевое обучение / Stacking	M4	0,878	0,849–0,904	0,636	0,555–0,720	0,237	0,174–0,310	0,0187	1,00	1,00
<i>Апостериорный риск FMF / FMF posterior</i>	<i>M4</i>	0,877	0,850–0,901	0,654	0,573–0,728	0,229	0,169–0,302	0,0192	1,30	0,72

Примечание: ПЭ – преэклампсия; AUC – площадь под ROC-кривой; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал (рассчитан методом бутстрэпа, 2000 итераций); DR@10 % FPR – доля выявления при 10 % ложноположительных результатов; AUPRC – площадь под кривой точность–полнота; Brier – оценка Бриера, показатель калибровки вероятностных прогнозов (чем меньше, тем лучше); О:Е – отношение наблюдаемых к ожидаемым событиям, идеальное значение = 1,00 (значения вне диапазона 0,8–1,2 выделены красным шрифтом); Калибровочный наклон — наклон калибровочной кривой, идеальное значение = 1,00; M0 – только материнские факторы (15 предикторов); M2 – M0 + биофизические маркеры (МАР – среднее артериальное давление, UtAPI – пульсационный индекс маточных артерий); M4 – M2 + биохимические маркеры (PIGF – плацентарный фактор роста, PAPP-A – ассоциированный с беременностью протеин-А плазмы); EPV – число событий на переменную, для модели M4 EPV = 8,7, что ниже рекомендуемого порога 10, поэтому оценки AUC следует интерпретировать с осторожностью; XGBoost – экстремальный градиентный бустинг; LightGBM – легкий градиентный бустинг; MLP – многослойный перцептрон; FMF – Фонд фетальной медицины; prior – априорный риск; posterior – апостериорный риск; курсивом выделены референсные модели FMF.

Note: PE – preeclampsia; AUC – area under the ROC curve; 95 % CI – 95 % confidence interval (calculated using bootstrap, 2,000 iterations); DR@10 % FPR – detection rate at 10 % false positive rate; AUPRC – area under the precision–recall curve; Brier – Brier score (lower values indicate better calibration); O:E – observed-to-expected ratio (ideal value = 1.00; values outside 0.8–1.2 are highlighted in red and bold); CalSlope – calibration slope (ideal value = 1.00); M0 – maternal factors only (15 predictors); M2 – M0 + biophysical markers (MAP – mean arterial pressure, UtAPI – uterine artery pulsatility index); M4 – M2 + biochemical markers (PIGF – placental growth factor, PAPP-A – pregnancy-associated plasma protein-A); EPV – events per variable (for M4 model, EPV= 8.7, which is below the recommended threshold of 10; therefore, AUC estimates should be interpreted with caution); XGBoost – Extreme Gradient Boosting; LightGBM – Light Gradient Boosting Machine; MLP – multilayer perceptron; FMF – Fetal Medicine Foundation; prior – prior risk; posterior – posterior risk; FMF reference models are highlighted in italic values.

Приложение 1.4. Преждевременная преэклампсия (ПЭ): количество событий = 138, соотношение числа событий на переменную (EPV) для модели M4 = 7,3.

Appendix 1.4. Preterm preeclampsia (PE): number of events = 138, events per variable (EPV) for the M4 model = 7.3.

Алгоритм Algorithm	Уровень Level	AUC	[95 % ДИ] [95 % CI]	DR@10 %	[95 % ДИ] [95 % CI]	AUPRC	[95 % ДИ] [95 % CI]	Оценка Бриера Brier score	О:Е	Калибровочный наклон CalSlope
Уровень M0: материнские факторы (15 предикторов) / Level M0: maternal factors (15 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M0	0,829	0,794–0,862	0,536	0,454–0,636	0,119	0,085–0,175	0,0171	1,00	0,92
Эластическая сеть / Elastic Net	M0	0,826	0,790–0,859	0,485	0,404–0,582	0,099	0,073–0,146	0,0179	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M0	0,812	0,778–0,846	0,442	0,357–0,529	0,087	0,064–0,125	0,0172	1,00	1,00

Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M0	0,839	0,805–0,871	0,536	0,450–0,626	0,106	0,076–0,156	0,0170	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M0	0,794	0,756–0,830	0,456	0,368–0,543	0,088	0,062–0,135	0,0172	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M0	0,762	0,720–0,800	0,405	0,320–0,487	0,066	0,048–0,101	0,0175	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M0	0,695	0,651–0,741	0,311	0,241–0,394	0,049	0,034–0,081	0,0178	1,00	1,00
Ансамблевое обучение / Stacking	M0	0,807	0,770–0,842	0,463	0,383–0,564	0,099	0,070–0,149	0,0172	1,00	1,00
Априорный риск FMF / FMF prior	M0	0,850	0,818–0,879	0,543	0,447–0,635	0,131	0,091–0,194	0,0171	2,21	0,96
Уровень M2: + MAP, UtAPI (17 предикторов) / Level M2: + MAP, UtAPI (17 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M2	0,869	0,834–0,903	0,666	0,587–0,751	0,272	0,201–0,362	0,0151	0,99	0,94
Эластическая сеть / Elastic Net	M2	0,857	0,821–0,891	0,673	0,593–0,753	0,181	0,133–0,254	0,0167	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M2	0,860	0,827–0,890	0,637	0,524–0,710	0,212	0,147–0,293	0,0160	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M2	0,872	0,840–0,900	0,623	0,539–0,717	0,192	0,135–0,263	0,0163	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M2	0,857	0,823–0,889	0,587	0,503–0,680	0,258	0,187–0,340	0,0155	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M2	0,831	0,792–0,868	0,601	0,511–0,681	0,227	0,160–0,301	0,0159	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M2	0,582	0,537–0,628	0,036	0,007–0,070	0,025	0,019–0,047	0,0179	1,00	0,94
Ансамблевое обучение / Stacking	M2	0,856	0,819–0,891	0,615	0,529–0,703	0,281	0,205–0,372	0,0151	1,00	1,00
Уровень M4: + PIGF, PAPP-A (19 предикторов) / Level M4: + PIGF, PAPP-A (19 predictors)										
Логистическая регрессия / Logistic Regression	M4	0,907	0,877–0,933	0,746	0,676–0,819	0,348	0,267–0,441	0,0141	1,00	0,93
Эластическая сеть / Elastic Net	M4	0,896	0,867–0,922	0,681	0,602–0,760	0,241	0,180–0,323	0,0163	1,00	1,00
Случайный лес / Random Forest	M4	0,893	0,863–0,918	0,673	0,586–0,753	0,269	0,198–0,350	0,0153	1,00	1,00
Экстремально случайные деревья / Extra Trees	M4	0,900	0,873–0,923	0,695	0,619–0,776	0,277	0,204–0,359	0,0153	1,00	1,00
Экстремальный градиентный бустинг / XGBoost	M4	0,881	0,848–0,909	0,673	0,589–0,754	0,290	0,215–0,376	0,0150	1,00	1,00
Легкий градиентный бустинг / LightGBM	M4	0,856	0,818–0,890	0,615	0,531–0,702	0,265	0,193–0,347	0,0154	1,00	1,00
Многослойный перцептрон / MLP	M4	0,770	0,734–0,805	0,347	0,263–0,427	0,167	0,109–0,245	0,0170	1,00	1,00

Ансамблевое обучение / Stacking	M4	0,889	0,855–0,918	0,731	0,642–0,804	0,337	0,255–0,430	0,0145	1,00	1,00
<i>Апостериорный риск FMF / FMF posterior</i>	<i>M4</i>	0,906	0,880–0,930	0,710	0,633–0,786	0,340	0,260–0,432	0,0144	1,09	0,86

Примечание: ПЭ – преэклампсия; AUC – площадь под ROC-кривой; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал (рассчитан методом бутстрэпа, 2000 итераций); DR@10 % FPR – доля выявления при 10 % ложноположительных результатов; AUPRC – площадь под кривой точность–полнота; Brier – оценка Бриера, показатель калибровки вероятностных прогнозов (чем меньше, тем лучше); О:Е – отношение наблюдаемых к ожидаемым событиям, идеальное значение = 1,00 (значения вне диапазона 0,8–1,2 выделены красным шрифтом); Калибровочный наклон — наклон калибровочной кривой, идеальное значение = 1,00; M0 – только материнские факторы (15 предикторов); M2 – M0 + биофизические маркеры (МАР – среднее артериальное давление, UtAPI – пульсационный индекс маточных артерий); M4 – M2 + биохимические маркеры (PIGF – плацентарный фактор роста, PAPP-A – ассоциированный с беременностью протеин-А плазмы); EPV – число событий на переменную, для модели M4 EPV = 7,3, что ниже рекомендуемого порога 10, поэтому оценки AUC требуют подтверждения на внешней валидации; XGBoost – экстремальный градиентный бустинг; LightGBM – легкий градиентный бустинг; MLP – многослойный перцептрон; FMF – Фонд фетальной медицины; prior – априорный риск; posterior – апостериорный риск; курсивом выделены референсные модели FMF.

Note: PE – preeclampsia; AUC – area under the ROC curve; 95 % CI – 95 % confidence interval (calculated using bootstrap, 2,000 iterations); DR@10 % FPR – detection rate at 10 % false positive rate; AUPRC – area under the precision–recall curve; Brier – Brier score (lower values indicate better calibration); O:E – observed-to-expected ratio (ideal value = 1.00; values outside 0.8–1.2 are highlighted in red and bold); CalSlope – calibration slope (ideal value = 1.00); M0 – maternal factors only (15 predictors); M2 – M0 + biophysical markers (MAP – mean arterial pressure, UtAPI – uterine artery pulsatility index); M4 – M2 + biochemical markers (PIGF – placental growth factor, PAPP-A – pregnancy-associated plasma protein-A); EPV – events per variable (for M4 model, EPV= 7.3, which is below the recommended threshold of 10; therefore, AUC estimates require confirmation through external validation); XGBoost – Extreme Gradient Boosting; LightGBM – Light Gradient Boosting Machine; MLP – multilayer perceptron; FMF – Fetal Medicine Foundation; prior – prior risk; posterior – posterior risk; FMF reference models are highlighted in italic values.

Ившин А.А., Болдина Ю.С., Малышев Н.А. Сравнительная эффективность восьми алгоритмов машинного обучения и модели конкурирующих рисков FMF для прогнозирования преэклампсии в первом триместре: многоцентровое когортное исследование с внешней валидацией. *Акушерство, Гинекология и Репродукция*. 2026;20(4):–. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2026.729>.

Приложение 2. Внешняя валидация ключевых моделей.

Ivshin A.A., Boldina Yu.S., Malyshev N.A. Comparative effectiveness of eight machine learning algorithms and the FMF competing risks model for first-trimester prediction of preeclampsia: a multicenter cohort study with external validation. *Akusherstvo, Ginekologiya i Reprodukcia = Obstetrics, Gynecology and Reproduction*. 2026;20(4):–. (In Russ.). <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2026.729>.

Appendix 2. External validation of key models.

Модель Model	Объем выборки (n) Sample size (n)	События Events	AUC [95 % ДИ]/ AUC [95 % CI]	DR@10 %	O:E	Оценка Бриера Brier score	Калибровочный наклон CalSlope
Ранняя ПЭ (< 34 недель) / Early-onset PE (< 34 weeks)							
Логистическая регрессия, уровень M0 / Logistic Regression M0	7581	58	0,823 [0,758–0,877]	0,552	0,883	0,0077	0,75
Логистическая регрессия, уровень M2 / Logistic Regression M2	4080	33	0,931 [0,864–0,971]	0,909	0,985	0,0075	0,76
Логистическая регрессия, уровень M4 / Logistic Regression M4	1010	11	0,911 [0,790–0,986]	0,818	0,913	0,0092	0,78
Априорный риск FMF / FMF prior	7581	58	0,841 [0,792–0,883]	0,552	1,105	0,0074	0,97
Апостериорный риск FMF / FMF posterior	1010	11	0,923 [0,864–0,973]	0,727	0,309	0,0181	0,65
Поздняя ПЭ (> 34 недель) / Late-onset PE (≥ 34 weeks)							
Логистическая регрессия, уровень M0 / Logistic Regression M0	7581	312	0,791 [0,763–0,815]	0,439	0,904	0,0379	0,90
Логистическая регрессия, уровень M2 / Logistic Regression M2	4080	169	0,801 [0,767–0,832]	0,444	0,914	0,0379	0,92
Логистическая регрессия, уровень M4 / Logistic Regression M4	1010	40	0,780 [0,708–0,845]	0,400	0,693	0,0367	0,81
Априорный риск FMF / FMF prior	7581	312	0,811 [0,787–0,835]	0,490	5,946	0,0395	0,91
Апостериорный риск FMF / FMF posterior	1010	40	0,728 [0,653–0,803]	0,350	1,123	0,0455	0,32
Тяжелая ПЭ / Severe PE							
Логистическая регрессия, уровень M0 / Logistic Regression M0	7581	124	0,790 [0,746–0,832]	0,452	0,776	0,0159	0,89
Логистическая регрессия, уровень M2 / Logistic Regression M2	4080	58	0,830 [0,764–0,887]	0,603	0,679	0,0138	0,82
Логистическая регрессия, уровень M4 / Logistic Regression M4	1010	18	0,833 [0,714–0,927]	0,500	0,558	0,0186	0,71
Априорный риск FMF / FMF prior	7581	124	0,834 [0,801–0,865]	0,500	2,363	0,0157	0,93

<i>Апостериорный риск FMF / FMF posterior</i>	1010	18	0,819 [0,698–0,911]	0,500	0,505	0,0248	0,47
Преждевременная ПЭ (< 37 недель) / Preterm PE (< 37 weeks)							
Логистическая регрессия, уровень M0 / Logistic Regression M0	7581	110	0,798 [0,752–0,838]	0,491	0,836	0,0143	0,80
Логистическая регрессия, уровень M2 / Logistic Regression M2	4080	62	0,875 [0,828–0,917]	0,694	0,892	0,0138	0,89
Логистическая регрессия, уровень M4 / Logistic Regression M4	1010	20	0,825 [0,728–0,907]	0,500	0,629	0,0212	0,57
<i>Априорный риск FMF / FMF prior</i>	7581	110	0,823 [0,783–0,858]	0,518	2,096	0,0140	0,91
<i>Апостериорный риск FMF / FMF posterior</i>	1010	20	0,826 [0,727–0,909]	0,550	0,561	0,0244	0,50

Примечание: ПЭ – преэклампсия; AUC – площадь под ROC-кривой; 95 % ДИ – 95 % доверительный интервал (рассчитан методом бутстрэпа, 2000 итераций); DR@10 % FPR – доля выявления при 10 % ложноположительных результатов; Brier – оценка Бриера, показатель калибровки вероятностных прогнозов (чем меньше, тем лучше); O:E – отношение наблюдаемых к ожидаемым событиям, идеальное значение = 1,00 (значения вне диапазона 0,8–1,2 выделены красным шрифтом); Калибровочный наклон — наклон калибровочной кривой, идеальное значение = 1,00; M0 – только материнские факторы (15 предикторов); M2 – M0 + биофизические маркеры (МАР – среднее артериальное давление, UtAPI – пульсационный индекс маточных артерий); M4 – M2 + биохимические маркеры (PIGF – плацентарный фактор роста, PAPP-A – ассоциированный с беременностью протеин-А плазмы); FMF – Фонд фетальной медицины; prior – априорный риск; posterior – апостериорный риск; курсивом выделены референсные модели FMF.

Note: PE – preeclampsia; AUC – area under the ROC curve; 95 % CI – 95 % confidence interval (calculated using bootstrap, 2,000 iterations); DR@10 % FPR – detection rate at 10 % false positive rate; Brier – Brier score (lower values indicate better calibration); O:E – observed-to-expected ratio (ideal value = 1.00; values outside 0.8–1.2 are highlighted in red and bold); CalSlope – calibration slope (ideal value = 1.00); M0 – maternal factors only (15 predictors); M2 – M0 + biophysical markers (MAP – mean arterial pressure, UtAPI – uterine artery pulsatility index); M4 – M2 + biochemical markers (PIGF – placental growth factor, PAPP-A – pregnancy-associated plasma protein-A); FMF – Fetal Medicine Foundation; prior – prior risk; posterior – posterior risk; FMF reference models are highlighted in italic values.