

JAIYQ-MRI

Тасқын-импульсті жұмыртқа банкіне негізделген маса тәуекел моделі
Атырау қаласы және Жайық өзенінің атырауы, Солтүстік Каспий

Толық аты: Jaiyq Flood-pulse Mosquito Risk Intelligence · **Ядросы:** FPEB — Flood-Pulse Egg-Bank engine
Түрі: механистік компартмент моделі + спутниктік қашықтан зондтау · **Валидация күйі:** валидацияланбаған
Аумағы: Атырау облысы, 90 есептеу нүктесі · **Жаңару жиілігі:** сағат сайын

Құжаттың мәртебесі. Бұл — жұмыс істеп тұрған жүйенің техникалық сипаттамасы, жарнамалық материал емес. Модельдің әлі тексерілмегені, параметрлерінің калибрленбегені және қандай тұжырым жасауға жарамайтыны ашық жазылған. Әр сан қай дереккөзден келетіні көрсетілген.

1. Модель нені өлшейді және нені өлшемейді

Өлшейді: маса көбеюіне жағдайдың қаншалық қолайлы екенін — уақыт пен кеңістік бойынша салыстыруға жарайтын 0–100 индекс.

Өлшемейді: маса САНЫН. Индекс 70 деген жерде бір шаршы метрде қанша маса бар екенін бұл модель айта алмайды. Ол үшін далалық тұзақ деректері қажет, олар Атырау бойынша жинақталмаған.

Сондықтан индекс **реттік** (ordinal): «А ауданы Б ауданынан қауіптірек» деген тұжырым жасауға жарайды, «А ауданында 500 маса бар» деген тұжырымға жарамайды.

Неге бұл модель керек болды

Дайын модельдердің басым бөлігі **ыдыс-су** (container-breeding) масаларына — *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus* — арналған. Олардың ажыратқышы: адам жинаған су (шина, ыдыс, науа). Ал Жайық атырауында басты драйвер мүлдем басқа: **көктемгі қар суы тасқыны**. Су басқанда құрғақ жатқан диапаузалы жұмыртқа банкі жарылады. Ыдыс-су модельдері бұл механизмді мүлдем қамтымайды.

2. Экологиялық негіз

2.1 Түрлер

Түр	Үлесі*	Экологиясы	Маңызы
Culex modestus	56,2 %	Тұрақты су: қамыс көлшіктері, суару каналдары, қала дренажы	Батыс Нил вирусының (WNV) басты тасымалдаушысы
Aedes caspius (және <i>vexans</i> , <i>flavescens</i> , <i>cinereus</i>)	басым топ	Тасқын-су, тұздылау батпақ. Десикацияға төзімді диапаузалы жұмыртқа	Массалық мазалау — тұрғындарға тікелей әсері
Anopheles (<i>maculipennis</i> , <i>hyrcanus</i>)	1,8 %	Тұрақты су, жылы климат	Аз, бірақ жылынумен таралуда

* Батыс Қазақстан / Жайық-Ақжайық аулау жинақтары бойынша. Атырау қаласының өз тұзақ базасы жоқ.

Модельге тікелей әсер еткен түзету. Әдетте «Атырауда *Aedes caspius* басым» деп болжанады. Ал аулау деректерінде ***Culex modestus* доминант (56 %)**. Сондықтан модель екі экологияны БӨЛЕК ұстайды: тасқын-су *Aedes* (импульсті шыңдар) және тұрақты-су *Culex* (WNV, жаз ортасы), айлық салмақпен ауысады.

2.2 Басты драйверлер (дәлелденген реті бойынша)

1. **Көктемгі тасқынның көлемі мен уақыты** — тасқын-су *Aedes* үшін негізгі ажыратқыш: жұмыртқа су басумен жарылады
2. **Гидропериод** — көлшік дернәсілдің дамуын аяқтауға жеткілікті ұзақ тұруы қажет
3. **Қамыс алқаптары (*Phragmites*)** — *Culex modestus* үшін ең күшті мекен предикторы
4. **Температура** — буын санын және даму жылдамдығын белгілейді
5. **Топырақ ылғалы, жауын** — қосалқы су көздері
6. **Қалалық амплификация** — дренаж, подвал, суару арықтары

3. Модельдің архитектурасы

Жеті қабат. Төменде әрқайсысының **іске асу күйі** ашық көрсетілген — жоба құжатында сипатталғанның бәрі кодта бар емес.

Қабат	Мазмұны	Күйі	Іске асуы
L1	Гидро-мекен: су басуды анықтау	істейді	Sentinel-1 SAR + GloFAS → тасқын импульсі
L1	Каспий деңгейі модуляторы	жоқ	Тексерілген тегін дереккөз табылмады
L2	FPЕВ ядросы: жұмыртқа банкі динамикасы	істейді	dE/dt, dL/dt, dA/dt тәуліктік интеграция
L2	Гидропериод	істейді	S1 өтулері бойынша «кемінде N күн»
L3	Температура гейті	істейді	Mordecai 2019 термиялық шектері
L4	Culex / WNV тармағы	істейді	Sentinel-2 NDVI → қамыс мекені
L5	ML болжам (LSTM/GRU + RF/SHAP)	жоқ	Валидациясыз қосу жалған дәлдік берер еді
L6	Bayesian белгісіздік интервалы	жоқ	Сол себеп
L7	Digital twin + ассимиляция	ішінара	Күй қайта интегралданады; ассимиляциялайтын бақылау жоқ

4. Формулалар

4.1 Жиынтық индекс

$$MRI = 100 \cdot \Phi_T(T) \cdot (0,15 + 0,85 \cdot S) \cdot (1 + 0,4 \cdot U + 0,5 \cdot W)$$

Φ_T – температура гейті (0...1)

S – түрлер қоспасы: $S = \text{clamp}(w_A(\text{ай}) \cdot A + w_C(\text{ай}) \cdot C)$

A – тасқын-су Aedes ересек индексі (FPЕВ интеграциясынан)

C – тұрақты-су Culex индексі

U – қалалық амплификация (елді мекенге жақындық, 0...1)

W – тасқын мүшесі = бейімділік × өлшенген импульс

Тұрақты мүше 0,15 — температура рұқсат еткен кездегі фондық белсенділік: су режимі нашар болса да маса мүлдем нөл болмайды.

4.2 Температура гейті Φ_T

$$\Phi_T(T) = (T - T_0)(T_m - T) / ((T_m - T_0)/2)^2, \quad T_0 < T < T_m$$
$$\Phi_T(T) = 0 \quad \text{әйтпесе}$$

$T_0 = 16,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_m = 34,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ шыңы = $25,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Шектер Mordecai т.б. (2019) Батыс Нил вирусы жүйесі үшін жариялаған мәндерден. Нормалау шыңда дәл 1 береді. Мақаладағы Brière фитінің дәл көшірмесі емес — симметриялы жуықтау, бірақ шыңы (25,9 °C) мақалада хабарланған ~25 °C оптимумына сәйкес келеді.

4.3 FPEВ ядросы — тасқын-импульсті жұмыртқа банкі

Модельдің жүрегі. Тәуліктік қадаммен интегралданатын үш теңдеу:

$$dE/dt = f \cdot (\phi_{\text{egg}}(\text{ай}) - E) - h(W) \cdot E$$
$$dL/dt = h(W) \cdot E - L/\tau(T) - \mu_L \cdot L$$
$$dA/dt = (L/\tau(T)) \cdot s(\text{hydro}) - \mu_A \cdot A$$

E — жұмыртқа банкі (диапаузалы, құрғақта тірі қалады)

L — дернәсіл

A — ересек

$h(W) = k_h \cdot W$ жарылу жылдамдығы (су басу қосады)

$\tau(T) = DD / (T - T_{\text{base}})$ даму ұзақтығы, тәулік

$s(\text{hydro})$ гидропериодтан шыққан тірі қалу

$\phi_{\text{egg}}(\text{ай})$ маусымдық банк сыйымдылығы

Осы теңдеулердің мәні — КІДІРІС. Су басқан күні маса пайда болмайды: алдымен жұмыртқа жарылады, содан кейін дернәсіл $\tau(T)$ күн дамиды. 25 °C-та бұл ≈ 10 тәулік. Кідіріссіз модель шыңды дұрыс емес күнге қояды.

4.4 Параметрлер

Параметр	Мәні	Мағынасы	Негізі
DD	150 °C·тәулік	Жұмыртқа→ересек градус-күн	Кулициндік әдебиет
T_base	10 °C	Даму табалдырығы	Кулициндік әдебиет
μ_L	0,10 /тәулік	Дернәсіл өлімі	Әдебиеттегі типтік шама
μ_A	0,12 /тәулік	Ересек өлімі	Әдебиеттегі типтік шама
k_h	0,6	Жарылу коэффициенті	Модель баптауы
f	0,15 /тәулік	Банктің толығыуы	Модель баптауы
T ₀ / T _m	16,8 / 34,9 °C	Термиялық шектер	Mordecai 2019

Жеті параметрдің **тек біреуі** (термиялық шектер) нақты жарияланған зерттеуден алынған. Қалғандары — кулициндік әдебиеттегі жалпы шамалар мен модель баптаулары. *Aedes caspius* үшін жергілікті калибрлеу ЖОҚ. Бұл — модельдің басты әлсіздігі.

4.5 Тасқын мүшесі W

$$W = \text{БЕЙІМДІЛІК} \times \text{ИМПУЛЬС}$$

БЕЙІМДІЛІК — Жайық арнасына/атырауға жақындық (география, тұрақты)

ИМПУЛЬС — $0,65 \cdot \text{SAR} + 0,35 \cdot \text{GloFAS}$ (өлшенген, күн сайын өзгереді)

SAR	= min(1, артық су ауданы % / 5%)
GloFAS	= ағынның өз терезесіндегі қатынасы

Бұл бөліну маңызды: бейімділік «қай жер су басуға бейім» дегенді, импульс «бүгін су басты ма» дегенді көрсетеді. Бұрын екеуі араласып, сәуірде де, қаңтарда да бірдей мән беретін.

4.6 Culex тармағы

$$C = \text{clamp}(0,55 \cdot R + 0,30 \cdot W + 0,15 \cdot U) \cdot H(rh)$$

R — қамыс мекені (Sentinel-2 NDVI > 0,4 үлесі / 0,3)

H(rh)– ылғалдылық көбейткіші: (rh - 40) / 45

5. Кіріс деректері

Дерек	Дереккөз	Түрі	Кідіріс	Қайда қолданылады
Су басқан аумақ, гидропериод	Copernicus Sentinel-1 GRD (VV, GAMMA0)	өлшем	1–6 тәулік	L1, L2
Қамыс мекені	Copernicus Sentinel-2 L2A (NDVI)	өлшем	1–5 тәулік	L4
Өзен ағыны	GloFAS (Open-Meteo Flood API)	модель	1 тәулік	L1, L2 драйвері
Температура, ылғал, жауын	ECMWF (Open-Meteo)	модель	1 сағат	L3, барлық тармақ
Топырақ ылғалы	ECMWF топырақ моделі	модель	1 сағат	Қосалқы су көзі
Қала/елді мекен тізілімі	Жобаның өз тізілімі (8 елді мекен)	тізілім	—	U мүшесі
Есептеу нүктелері	Атыраудың 65 нүктесі + облыстық 5×5 тор	тізілім	—	Кеңістік торы

Есептеу тізбегі

- 90 нүкте бойынша ECMWF метеорологиясы алынады (өткен 30 + алдағы 14 тәулік)
- GloFAS күндік ағыны → күндік тасқын импульсі $W(t)$
- Sentinel-1 бақылау терезелерінде артық су ауданы мен гидропериод өлшенеді
- Sentinel-2 NDVI бойынша қамыс мекені бағаланады
- Әр нүкте үшін FPEB теңдеулері 30 тәуліктік «жүгіріспен» интегралданады
- Ересек индексі $A(t)$ идеал жағдайдағы теориялық шыңға нормаланады
- Culex тармағы қосылып, айлық салмақпен араластырылады
- Температура гейті мен амплификация қолданылып, 0–100 шкаласына келтіріледі

Күй дерекқорда сақталмайды. Әр сұраныста нөлден қайта интегралданады. Артықшылығы: нәтиже детерминистік, қайталанады, күй жылжып кетпейді. Жобадағы өрт қаупі индексі (FWI) де дәл осылай есептеледі — бұл салада қалыптасқан тәсіл.

6. Әлемдік модельдермен салыстыру

Модель	Тәсілі	Күшті жағы	Атырауға жарамауының себебі
MoLS Mosquito Life Cycle Simulation	Механистік өмір циклі	Толық биологиялық тізбек, синтетикалық дерек шығара алады	Параметрлері ыдыс-су <i>Ae. aegypti</i> үшін. Тасқын-импульс механизмі жоқ
Aedes-AI	Нейрожелі (LSTM/GRU)	Жылдам, ықтималдық шығыс	MoLS-тің <i>aegypti</i> биологиясын мұрагерлейді, АҚШ-қа калибрленген
MAMOTH / EYWA	Спутник + метео + тұзақ	Операциялық, Еуропада қолданыста. Ең жақын аналог	Оқыту үшін тұзақ деректері міндетті — Атырауда олар жоқ
VECTRI	Климаттық-динамикалық	Континенттік ауқым, су айдынын қоса есептейді	Безгек (Anopheles) үшін, Африкаға бағдарланған
Mordecai термиялық модельдері	Физиологиялық-термиялық	Жергілікті дерексіз ауысады, рецензияланған	ТЕК температура. Су, мекен, гидрология мүлдем жоқ
Камагг Ae. caspius моделі Bull. Entomol. Res.	Тасқынға негізделген популяция динамикасы	Дәл біздің түрге арналған , тасқын-импульс механизмі бар	Спутникпен байланыспаған, операциялық жүйе емес, Франция жағдайына фиттелген
RF / XGBoost + SHAP	Статистикалық оқыту	Түсіндірмелі, бейсызық	Оқыту үшін бақылау керек — жоқ. Экстраполяциясы нашар

Салыстырмалы қасиеттер кестесі

Қасиет	JAIYQ-MRI	MAMOTH	MoLS	Aedes-AI	Камагг	Mordecai
Тасқын-импульс ажыратқышы	иә	жоқ	жоқ	жоқ	иә	жоқ
Диапаузалы жұмыртқа банкі	иә	жоқ	ішінара	жоқ	иә	жоқ
Спутниктен өлшенген су	иә	иә	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ
Гидропериод (ұзақтығы)	иә	жоқ	жоқ	жоқ	жанама	жоқ
Қамыс мекені (NDVI)	иә	иә	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ
Қос түр, маусымдық салмақ	иә	ішінара	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ
Тұзақ деректерінсіз жұмыс	иә	жоқ	иә	жоқ	жоқ	иә
Валидацияланған	ЖОҚ	иә	иә	иә	иә	иә
Белгісіздік интервалы	жоқ	ішінара	жоқ	иә	жоқ	иә

7. Уникальділік — шыншыл баға

Не жаңа ЕМЕС

Модельдің **бірде-бір компоненті** жаңа емес. Барлығы жарияланған, белгілі әдістер:

- Компартмент моделі (E-L-A) — вектор экологиясында ондаған жылдан бері
- Градус-күн даму жуықтауы — энтомологияның классикалық құралы
- SAR табалдырығымен су картасын жасау — Copernicus EMS-тің операциялық тәсілі
- NDVI-мен мекен бағалау — қашықтан зондтаудың негізгі әдісі
- Термиялық-жауап қисықтары — Mordecai тобының жұмысы
- Тасқын-импульс тұжырымдамасы — Камарг моделінде бар

Не жаңа

Жаңалық — **компоненттерде емес, олардың ЖИНАҚТАЛУЫНДА және ОПЕРАЦИЯЛЫҚ ІСКЕ АСУЫНДА:**

1. **Спутниктен ӨЛШЕНГЕН тасқын импульсі мен гидропериод механистік жұмыртқа банкі теңдеулерінің тікелей драйвері ретінде.** Камарг моделі тасқынды есептейді, бірақ спутникпен байланыспаған. MAMOTH спутникті қолданады, бірақ жұмыртқа банкі динамикасы жоқ әрі тұзақпен оқытылады. Екеуін біріктірген жүйе әдебиетте табылмады.
2. **Қос түрдің фазаға тәуелді салмағы** — көктемде тасқын-су Aedes, жаз ортасында WNV-тасымалдаушы Culex — бір архитектурада.
3. **Тұзақ деректерінсіз операциялық жұмыс.** Ең жақын аналог (MAMOTH) тұзақсыз іске қосыла алмайды.
4. **Солтүстік Каспий атырауына арнайы бейімделу** — бұл аймақ үшін жарияланған операциялық маса моделі табылмады.

Бірақ: «үздік» немесе «дәлірек» деген тұжырым ЖАСАЛМАЙДЫ. Модель валидацияланбаған. Салыстыру кестесіндегі «иә» белгілері мүмкіндіктің бар-жоғын көрсетеді, дәлдікті емес. Валидацияланған модельмен (MAMOTH, MoLS) дәлдік бойынша салыстыру үшін алдымен өз тұзақ базамыз болуы керек. Ғылыми жарияланымда бұл модельді «жаңа архитектура ұсынылды» деп сипаттауға болады, «нақтырақ болжайды» деп сипаттауға болмайды.

8. Не жетіспейді және оны шешу жолы

8.1 Валидация — ең үлкен олқылық

Мәселе: модель ешқашан нақты маса санымен салыстырылмаған. «MRI 70 нүктесінде MRI 40 нүктесіне қарағанда шынымен көп маса бар ма?» деген сұраққа жауап жоқ.

Шешу жолы:

- **6-10 тұзақ** (CDC light trap немесе BG-Sentinel) индексі әртүрлі нүктелерге орнатылады: 2 — Жайық жағасы, 2 — қамыс алқабы, 2 — қала ішінде, 2 — құрғақ бақылау нүктесі
- **Кезеңі:** мамыр-қыркүйек, аптасына 2 рет санау
- **Ұзақтығы:** кемінде 1 маусым (шешуші), 2 маусым (сенімді)
- **Нәтижесі:** MRI мен тұзақ саны арасындағы Спирман корреляциясы. $p > 0,6$ болса модель «валидацияланған» деп белгіленеді
- **Кім істей алады:** облыстық СЭС, ветеринария қызметі немесе университет биология кафедрасы — жабдық қымбат емес

8.2 Түрге тән параметрлер

Мәселе: жеті параметрдің алтауы *Aedes caspius* үшін калибрленбеген.

Шешу жолы: (а) тұзақ деректері жиналған соң параметрлерді кері фиттеу (least-squares немесе Bayesian); (ә) зертханада дернәсілдің даму ұзақтығын әртүрлі температурада өлшеу — бір маусымдық жұмыс.

8.3 Каспий деңгейінің әсері

Мәселе: Каспий деңгейі 1996 жылдан бері түсуде. Ол тұздылау батпақтардың ауданын қайта пішіндейді — бірақ модельде ескерілмеген.

Шешу жолы: спутниктік альтиметрия деректері (Hydroweb, G-REALM, Copernicus Marine). Ай сайынғы деңгей қатары модельге баяу модулятор ретінде қосылады. Кедергі: тексерілген тегін API әлі табылмады — қолмен жүктелетін файлдарды автоматтандыру керек.

8.4 Гидропериодтың дәлдігі

Мәселе: Sentinel-1 қайталауы ~6 тәулік, сондықтан «су кемінде N күн тұрды» деген төменгі шек қана шығады. Екі өту арасында су кеуіп, қайта басуы мүмкін.

Шешу жолы: Sentinel-2 су индексін (MNDWI) қосу — бұлтсыз күндері қосымша өтулер береді, уақыттық тығыздық шамамен екі есе артады. Инфрақұрылым дайын (S2 сұранысы қамыс үшін жазылған).

8.5 Қамыс классификациясының тексерілуі

Мәселе: NDVI $> 0,4$ — тығыз өсімдік, бірақ суармалы егіс пен ағаш екпелері де сол шекке кіреді.

Шешу жолы: (а) жоғары ажыратымдылықты сурет бойынша 50-100 нүктені қолмен тексеру; (ә) Sentinel-2 көп арналы классификациясы (қамыстың су үстіндегі спектрі ерекше); (б) далалық маршрутпен растау.

8.6 Белгісіздік интервалы

Мәселе: модель нүктелік сан береді, ал шын мәнінде белгісіздігі үлкен.

Шешу жолы: параметрлердің ықтимал диапазонымен ансамбль жүргізу (50–100 жүгіріс) → пайыздық интервал. Бұл ЖАҢА дерек талап етпейді, тек есептеу. Бірақ интервалдың ені калибрлеусіз шындыққа сай болмайды, сондықтан валидациядан КЕЙІН істеген дұрыс.

8.7 Басымдық реті

№	Жұмыс	Күш	Әсері	Тәуелділігі
1	Тұзақ желісін орнату (валидация)	орташа	шешуші	Далалық жұмыс, серіктес керек
2	Гидропериодқа S2 қосу	аз	жоғары	Жоқ — бірден істеуге болады
3	Қамыс классификациясын тексеру	аз	орташа	Жоқ
4	Каспий деңгейі модуляторы	орташа	орташа	Дереккөзді автоматтандыру
5	Параметрлерді фиттеу	орташа	жоғары	№1 аяқталуы керек
6	Ансамбль + белгісіздік	орташа	жоғары	№5 аяқталуы керек
7	ML қабаты (L5)	үлкен	белгісіз	№1 — оқыту үшін жапсырма керек

9. Шектеулер — қысқаша тізім

- Индекс климаттық ҚОЛАЙЛЫЛЫҚТЫ өлшейді, маса САНЫН емес
- Модель валидацияланбаған — тұзақ деректері жоқ
- Жеті параметрдің алтауы түрге калибрленбеген
- Гидропериод — «кемінде N күн» деген төменгі шек, дәл сан емес
- Қамыс мекені — NDVI проксиі, қамыстың картасы емес
- Радар 10–30 м ажыратымдылықпен ұсақ көлшіктер мен арықтарды көрмейді
- Температура қисығы басым түрдің (*Culex*) жүйесіне калибрленген
- Каспий деңгейінің әсері ескерілмеген
- Дереккөз қолжетімсіз болса модель әлсіретілген режимге көшеді — ол әрқашан ашық белгіленеді, жалған санмен толтырылмайды

10. Дереккөздер

1. Mordecai E.A. et al. (2019) — Thermal biology of mosquito-borne disease. *PLoS Negl Trop Dis*. doi:10.1371/journal.pntd.0006451
2. Mordecai E.A. et al. (2017) — Detecting the impact of temperature on transmission. *PLoS Negl Trop Dis*. doi:10.1371/journal.pntd.0005568
3. *Aedes caspius* flooding population-dynamics model (Камагр). *Bulletin of Entomological Research*
4. Батыс Қазақстан WNV / *Culex modestus*. *Frontiers in Public Health* (2020), fpubh.2020.575187
5. WNV Қазақстан жылқыларында, Атырауды қоса (8,7 %). doi:10.3390/microorganisms13112541
6. MAMOTH — Earth Observation data-driven model for mosquito abundance; EYWA жүйесі
7. MoLS — Mosquito Life Cycle Simulation. PMC6367629
8. *Aedes*-AI нейрожелілері. *PLoS Comput Biol*, pcbi.1009467

9. Sentinel-1 су бетін автоматты анықтау (дернәсіл бақылауы үшін)
10. Van Wagner C.E. (1987) — Canadian FWI жүйесі (spin-up тәсілінің үлгісі)
11. Ақжайық Рамсар алаңы — rsis Ramsar.org/ris/1856
12. Copernicus Sentinel-1 / Sentinel-2 техникалық құжаттамасы
13. Open-Meteo Flood API (GloFAS) құжаттамасы

Jaiyq · esojaiyq.com · Қазақстан мен Каспий жағалауының экологиялық AI мониторинг платформасы

Бұл құжат жүйенің ағымдағы техникалық күйін сипаттайды. Модель валидацияланбаған: шығысы тексеру тағайындауға негіз болады, бірақ сот немесе әкімшілік іс үшін дәлел ретінде қолданылмайды.