

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОШИРЕННЯ ЗАХВОРЮВАННЯ СОСНИ

Серед багатьох чинників, які впливають на стійкість дерев до захворювань, саме зміни клімату призводять, зокрема, до підвищення температури та зменшення рівня ґрунтових вод. Створюються умови, сприятливі для розвитку шкідників і згубні для дерев з поверхневою кореневою системою, тому швидко розвивається процес масової загибелі соснових лісів внаслідок дії короїдно-трахеомікозних комплексів.

Дослідження захворювання лісових насаджень, а саме їх всихання спричинені, зокрема, верхівковим короїдом, проводяться вже протягом значного періоду часу на основі різних підходів. Біологи, в основному, використовують польові дослідження, які дозволяють провести аналіз пошкоджених дерев, шкідників та збудників в окремих регіонах протягом декількох років. Серйозність проблеми змусила застосовувати інші підходи, зокрема дистанційне зондування лісових масивів, яке здатне охопити проблему на більшому масштабному рівні, але має обмеження по точності визначення причини всихання представника того чи іншого виду насаджень. Метою обох підходів є аналіз захворювання для розуміння причин його появи і поширення, а також впливу додаткових чинників, вироблення рішень для контролю захворювання та його ліквідації.

Аналіз явища захворювання, його виникнення і поширення покликаний дати відповідь на питання, які саме процеси є в основі розвитку захворювання та побудувати їх формальний опис. Такий опис являє собою, як правило, статистичну модель процесу, що відображає розвиток захворювання у випадку окремого дерева або його локального поширення.

Дослідження на основі дистанційного зондування території вимагають менших зусиль і здатні охопити набагато більшу область для дослідження, що підвищує їх загальність. Крім того, моніторинг захворювання протягом деякого періоду може слугувати основою для опису характеру та темпів його поширення на великій території.

Ідеальним виглядає варіант комбінування польових і дистанційних досліджень, оскільки це дозволить врахувати максимально велике число супутньої інформації, яка є необхідною для розуміння характеру протікання захворювання. На жаль, такі комбіновані дослідження практично не зустрічаються в літературі.

Просторовий точковий образ – це набір даних у формі набору місць, нерівномірно розподілених у досліджуваному регіоні, у яких були зареєстровані події, наприклад розташування дерев у природно відновленому лісі. Спостережуваний просторовий точковий образ може бути змодельований як реалізація просторового стохастичного процесу, представленого набором випадкових величин – кількості подій, що відбуваються в деякій області (Рис.1а, б).

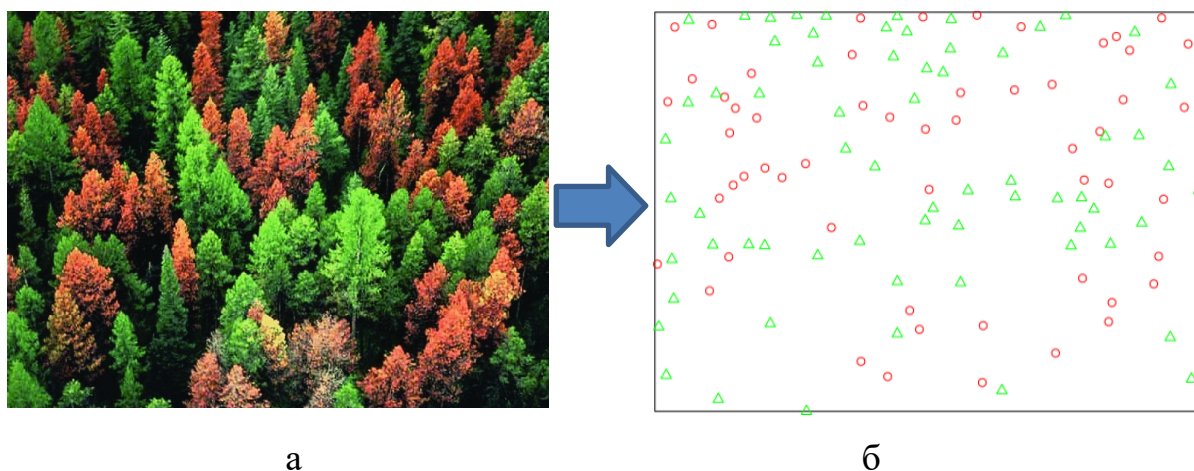


Рис.1. Зображення уражених дерев (а) та відповідний точковий образ (б).

Неоднорідний Пуасонівський випадковий процес є загальноприйнятою моделлю для опису процесів, що супроводжують поширення інфекційних та заразних захворювань. Попри широке застосування, неоднорідний Пуасонівський процес має обмежені можливості для опису випадкових подій, оскільки він реалізується як “прорідження” однорідного Пуасонівського процесу.

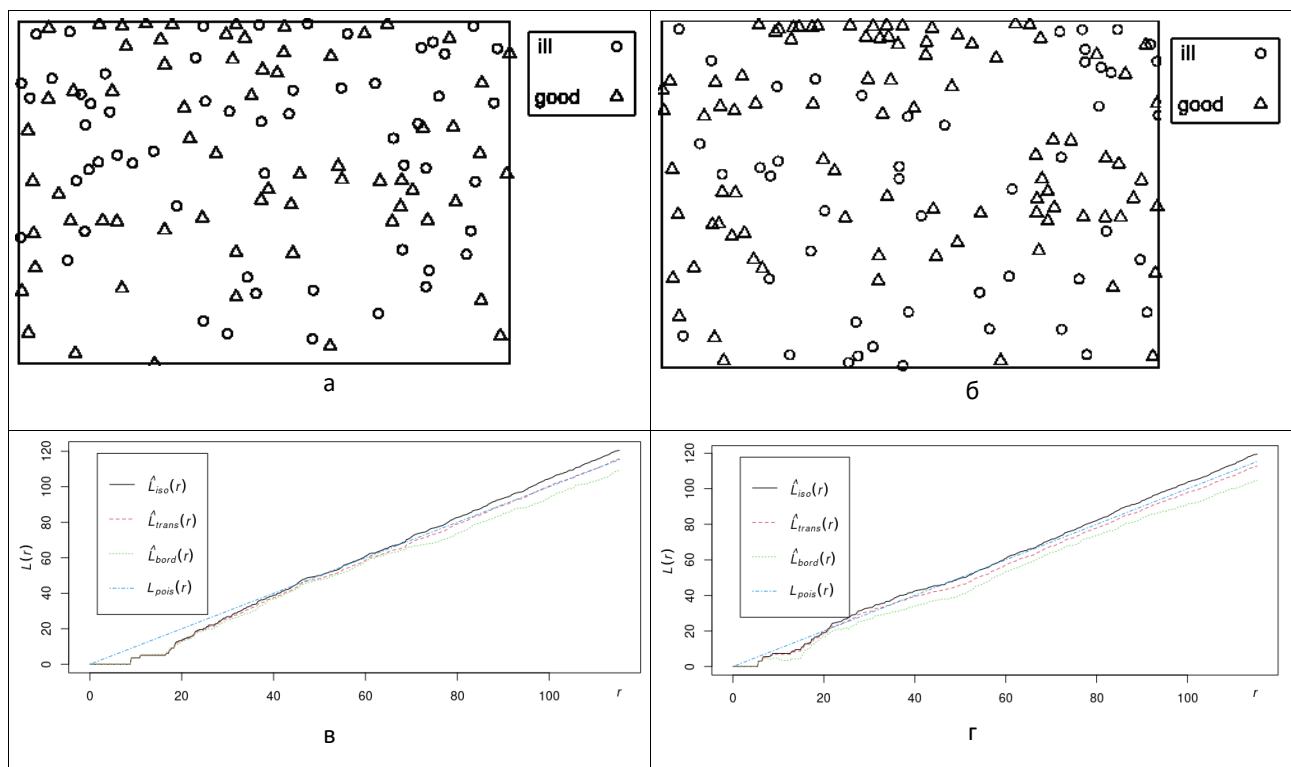
З метою більш точного моделювання поширення захворювання соснових насаджень, дослідили їх моделювання на основі широкого кола випадкових процесів Гіббса. Це велике сімейство моделей, що дозволяють описувати взаємодії різного типу між подіями, що моделюють не тільки регулярні

точкові образи або точкові образи з агрегацією подій, але і комбінації цих типів розміщень.

Ймовірність довільної скінченої конфігурації точок визначається локальною взаємодією та залежить від взаємодії із сусідами, яка може визначатися різними способами. Якщо розглядається тільки один сусід, тоді процес Гіббса – модель парної взаємодії. Відоме широке коло моделей процесів парної взаємодії, які дозволяють будувати описи природних процесів. Підбираючи параметри функції парної взаємодії можна досягнути їх реалістичного відтворення.

Одним із способів оцінки відповідності моделі реальним даним є загальновизнаний критерій Акакі, значення якого є тим меншим, чим подібніша модель до реального процесу.

Згідно значень критерію, найкращим наближенням моделі випадкового процесу, який описує поширення захворювання дерев, можна розглядати приклад симуляції точкового образу за допомогою процесу попарної взаємодії з кусково-постійним потенціалом пари точок (Рис.2а, б).



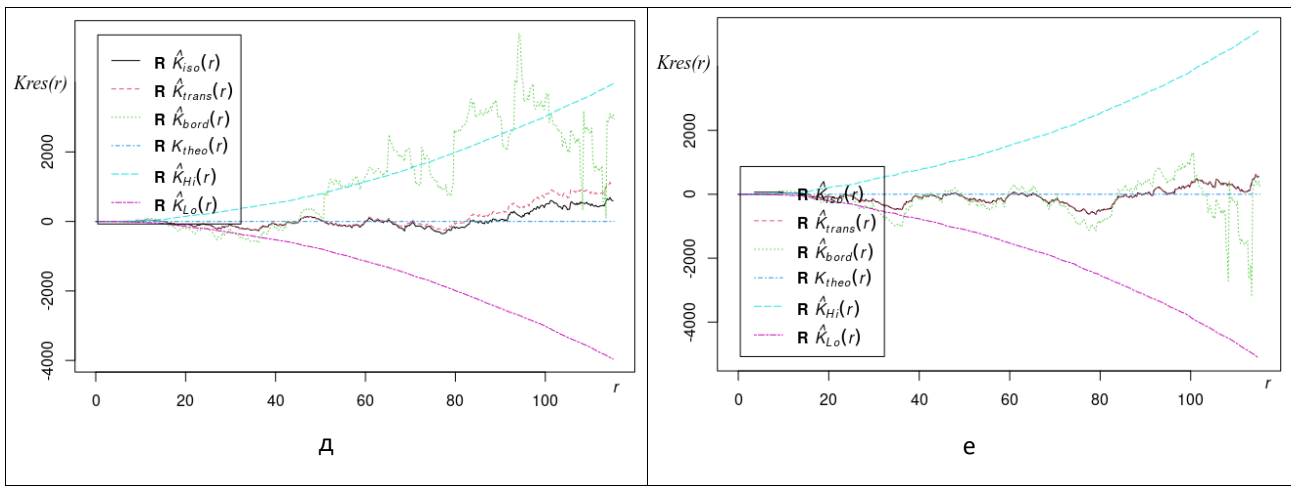


Рис. 2. Симуляція та верифікація процесу зараження на основі процесів парної взаємодії.

З Рис. 2 в, г бачимо, що порівнюючи L-функції процесів вихідного та згенерованого, на основі моделі попарної взаємодії з кусково-постійним потенціалом пари, можна стверджувати добру відповідність модельних даних реальним. Якщо розглянути значення L-функції на малих відстанях (менше 20 м), то бачимо, що обидва графіки вказують на регулярність розташування точок образу в цьому діапазоні. Далі, в обох випадках, із зростанням міжточкової відстані спостерігається незначний тренд до кластерного формування точок. Якщо проаналізувати значення залишкових K-функцій для процесу попарної взаємодії з кусково-постійним потенціалом пари та узагальненої моделі точкового процесу насичення Гейєра, на випадок декількох відстаней взаємодії (Рис. 2 д,е), то бачимо, що в обох випадках для відстаней до 20 м, середнє значення функції близьке до нуля, що є індикатором доброї відповідності моделі реальним даним. Та й для усього діапазону відстаней між об'єктами середнє значення залишкової K-функції залишається близьким до нуля. Отже, обрані моделі парної взаємодії є добрим наближенням реальних процесів.

Таким чином, описані процеси поширення захворювання соснових насаджень від жуків-короїдів та процеси попарної взаємодії з кусково-постійним потенціалом пари можна застосовувати при дослідженнях.