

верхней и нижней частями кроны составляет до 28 %. Удельная поверхность хвои находится в пределах 8—11 м²/кг для абсолютно сухого состояния. На большом фактическом материале установлено (Fröhlich, цит. по [2]), что длина одной хвоинки ели обыкновенной составляет 15,1±2,4 мм, поверхность — 36,6±8,3 мм², абсолютно сухая масса — 3,3±0,9 мг. Наши результаты близки к данным литературы, однако вызывают на несколько более высокую вариабельность параметров, обусловленную почвенными условиями среды произрастания ели и положением хвои в кроне.

На основании полученных материалов можно сделать следующее заключение. Узкие экологические границы произрастания ели на заболоченных территориях эвтрофного типа находят свое отражение в сравнительно незначительных различиях морфометрических показателей хвои по ассоциациям. Они наиболее выражены в крайних по продуктивности древостоях. Связь параметров хвои с диаметром деревьев может носить противоположный характер в зависимости от экологических условий произрастания ели. В преобладающем числе ассоциаций верхняя часть кроны характеризуется более высокими линейными значениями хвои, площадью поверхности и массой. Отмеченные особенности морфометрических параметров хвои ели необходимо учитывать при подборе объектов мониторинга еловых лесов, использовании характеристик хвои в качестве диагностических признаков в оценке антропогенной трансформации лесных экосистем.

Список литературы

1. Уткин А. И. Лесоведение и лесоводство, М., 1975. Т. 1. С. 10.
2. Ничипорович А. А. Фотосинтез и урожай, М., 1956. Сер. 5.

УДК 577.472(28):51

В. Ф. ИКОННИКОВ

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ ЭКОСИСТЕМЫ НАРОЧАНСКИХ ОЗЕР

Анализом чувствительности часто называют исследование тех эффектов, которые вызываются изменениями входных переменных и параметров модели и, в частности, выяснение того, как сильно при этом меняется поведение модели [1]. Параметры, к изменению которых модель наиболее чувствительна, подвергаются затем более тщательному изучению и последующей модификации.

В результате такого анализа может выясниться, во-первых, что для более точного моделирования соответствующих механизмов необходима дополнительная экспериментальная работа или анализ данных. Во-вторых, эта информация позволяет исследовать также неопределенности в работе модели. Важно выяснить поведение модели во всем диапазоне изменений основных параметров, так как изучение эффектов изменения только одного или нескольких из них не дает полной информации о взаимодействиях.

В настоящей работе приведены результаты оценки чувствительности модели экосистемы водоемов разной трофности: мезотрофного оз. Нарочь, эвтрофного оз. Мястро и высокоэвтрофного оз. Баторино. Подробное структурно-функциональное описание этой модели содержится в работах [2, 3].

Материал и методика

Математическая модель экосистемы Нарочанских озер реализована в виде программы на алгоритмическом языке Фортран-IV для ЭВМ ЕС-1022. В качестве критерия чувствительности модели использовался показатель относительной чувствительности (S_x), который определяли

по следующему выражению [4]: $S_X = \frac{\Delta X/X}{\Delta P/P}$, где X — переменная состояния; P — рассматриваемый параметр.

Брались средние за вегетационный сезон (май—октябрь) значения переменных. Отношение $\Delta P/P$ принимали равным 0,10 (или 10 % отклонения). Приращение откликов при изменении параметров модели определялось в центральной точке пространства значений параметров [5], выбор которой осуществлялся на основании априорных сведений.

Результаты и их обсуждение

Наблюдаются два типа реакции исследуемых экосистем на изменение параметров: прямая связь, т. е. увеличение числовых значений параметра ведет к росту соответствующих компонент экосистемы (U_z , K_l , d_l , поступление ΔN , ΔP , $P/B_{\max}$), и обратная (I_K , R_F^0 , R_Z^0 , Q_{10} и др.) (см. таблицу). Как правило, увеличение среднесезонных величин биомассы фитопланктона сопровождается ростом органического вещества и уменьшением содержания минеральных форм азота и фосфора и наоборот.

Модель оказалась наиболее чувствительной к таким показателям функционирования планктонного сообщества, как $P/B_{\max}$, I_K , P_F , причем существенных различий в реакции моделей озер разной трофности на изменение этих параметров не получено. Лишь по некоторым параметрам наблюдались отличия в реакции моделей водных экосистем. Так, например, наиболее чувствительна модель экосистемы высокоэвтрофного оз. Баторино к изменению I_K и R_F^0 . В свою очередь, модель экосистемы мезотрофного оз. Нарочь наиболее чувствительна к d_p , $P/B_{\max}$ и др. Чувствительна модель также к коэффициентам d_p и d_l , характеризующим формирование растворенного (РОВ) и взвешенного (ВОВ — детрит) органического вещества. Однако наиболее существенное влияние на изменение состояния исследуемых водоемов оказывает поступление в систему минеральных форм азота и фосфора (ΔN , ΔP). Роль таких параметров, как скорость седиментации $V_{\text{ВОВ}}$ и V_F , Q_{10} , оказалась минимальной.

При варьировании большинства параметров модели получено резкое изменение содержания в воде минеральных веществ. Это лишний раз свидетельствует о сильном взаимодействии между компонентами системы и подчеркивает важную роль планктонной системы в круговороте биогенных веществ. В результате проведенного анализа чувствительности модели не получено существенных изменений сезонного хода продукционных показателей и содержания основных компонентов экосистемы исследуемых озер, а также изменения их максимальных величин.

Интересно проследить, как сказывается изменение некоторых показателей функционирования фитопланктонного сообщества, отражающих различную фотосинтетическую активность и неодинаковые потребности различных видов фитопланктона в лимитирующих биогенных элементах и конкурентные взаимоотношения в условиях их дефицита, на поведение исследуемых водоемов.

Как следует из таблицы, чувствительность модели к изменению $P/B_{\max}$ всего фитопланктона довольно высока. Увеличение его числовых значений повышает уровень развития фито- и зоопланктона. Происходит значительное накопление в толще воды растворенного и взвешенного органического вещества. При этом снижается содержание растворенных в воде минеральных форм азота и фосфора. Увеличение числовых значений этого коэффициента у кормового фитопланктона, по сравнению с некормовым, приводит к сдвигу соотношения между ними в пользу первого. При этом общая продукция и биомасса фитопланктона изменяются незначительно.

Низкие величины продукции кормового фитопланктона в весенний период сильно тормозят развитие мирного зоопланктона, для которого он является одним из основных источников пищи. Увеличение величин

Относительная чувствительность (S_X , %) среднесезонных значений
компонентов экосистемы озер Нарочь (Н), Мясро (М) и Баторино (Б)
к 10 %-ным вариациям параметров модели

Параметр	Озеро	$S_{\text{фито}}$	$S_{\text{зоо}}$	$S_{\text{БОВ}}$	$S_{\text{РОВ}}$	S_N	S_P
I_k , кал/см ² ·день	Н	-28,6	-13,1	-19,0	-24,3	67,9	69,7
	М	-31,3	-35,7	-107,2	231,4	76,4	365,2
	Б	-162,8	-129,7	-130,2	-183,2	820,3	418,8
R_F^0 , сут. ⁻¹	Н	-5,6	-10,1	-11,2	-15,6	4,7	16,0
	М	-23,1	10,4	-34,8	-20,3	70,4	253,1
	Б	-58,7	-53,2	-51,5	-38,3	109,0	360,3
R_Z^0 , сут. ⁻¹	Н	17,6	-59,9	13,4	0,1	-21,1	-6,9
	М	-1,3	-355,4	12,4	-85,4	-216,1	-147,1
	Б	8,8	-89,5	10,1	-14,5	-34,9	-38,5
U_Z	Н	37,0	102,0	-4,9	8,1	72,1	206,5
	М	90,1	426,8	-14,7	147,1	163,1	292,1
	Б	4,7	160,0	-20,5	24,0	80,1	-51,8
Q_{10}	Н	-9,6	-6,6	0,0	19,6	-16,0	-82,3
	М	-6,3	-10,5	1,7	7,9	-96,9	-192,9
	Б	15,5	0,8	15,3	18,3	-109,9	-102,3
P_F , сут. ⁻¹	Н	-64,8	-15,4	-17,3	-18,6	72,2	80,9
	М	-54,6	-8,3	-13,7	-18,9	94,7	131,2
	Б	-44,7	-6,3	-9,5	17,4	45,5	63,2
P_Z , сут. ⁻¹	Н	-2,7	-29,8	0,7	-16,4	-9,9	-11,5
	М	11,8	-29,8	0,9	-19,9	-6,9	-7,5
	Б	-1,7	-9,8	-1,0	-8,6	-13,1	-12,5
P/B_{max} , сут. ⁻¹	Н	105,9	189,9	121,2	109,2	-92,9	-92,1
	М	87,7	627,9	93,3	146,1	-29,0	-392,6
	Б	85,0	106,4	125,0	132,5	-129,5	-281,8
$V_{\text{БОВ}}$ сут. ⁻¹	Н	-0,4	-65,2	-17,0	-4,9	0,2	10,4
	М	0,8	-10,5	-37,0	1,4	9,3	2,0
	Б	19,4	0,0	-78,7	31,5	-56,8	-153,6
V_F , сут. ⁻¹	Н	-3,4	-25,5	-7,1	-5,2	0,8	26,5
	М	-2,3	-23,8	-2,4	-2,9	-2,4	34,7
	Б	-3,5	-12,9	-4,4	-5,4	7,7	119,2
j	Н	-9,8	-27,2	-5,9	-13,3	7,2	165,5
	М	-5,9	84,4	-7,1	-7,9	10,6	320,5
	Б	3,5	-116,4	-3,6	-12,5	50,5	636,2
K_l , сут. ⁻¹	Н	9,6	-5,4	-0,6	5,7	0,6	2,6
	М	8,9	-3,5	0,0	4,3	3,9	10,2
	Б	10,9	-3,2	-1,2	2,1	1,2	-11,3
d_P	Н	-77,5	33,9	10,8	-255,1	12,6	-31,1
	М	-43,8	37,0	-19,4	-316,7	14,9	-334,2
	Б	-26,5	-28,5	0,0	-192,8	-67,5	-341,6
d_l	Н	11,4	11,4	0,0	-34,7	-3,9	-52,1
	М	5,5	57,4	-6,5	-30,8	-29,6	-265,8
	Б	12,5	0,0	-6,0	-19,0	36,2	174,3
d_F	Н	-1,9	-0,2	-0,9	-0,3	15,2	33,2
v_N	М	2,7	0,0	2,9	1,4	-9,1	0,0

Параметр	Озеро	$S_{\text{фито}}$	$S_{\text{зоо}}$	$S_{\text{БОВ}}$	$S_{\text{РОВ}}$	S_N	S_P
v_p	Б	6,1	0,0	4,3	3,3	—16,9	—65,6
ΔN , гN/м ² ·сут.	Н	59,2	55,9	55,4	44,3	39,0	—53,9
ΔP , гP/м ² ·сут.	М	31,7	—25,8	12,5	32,6	340,9	—169,6
	Б	49,6	29,8	32,1	32,6	97,3	312,5

Примечания: P/B_{max} , R_F^0 , d_F — удельные скорости продуцирования, трат на обмен и смертности у фитопланктона; R_Z^0 , U_Z , J — удельные траты на обмен, усвояемость пищи и индексе избирательности питания зоопланктона; P_F , P_Z — коэффициенты, учитывающие «эффект плотности» у фито- и зоопланктона; $V_{\text{БОВ}}$, V_F — скорость седиментации детрита и фитопланктона; Q_{10} — температурная поправка; I_h — величина начала светового насыщения фотосинтеза; V_N , V_P — доля доступного для фитопланктона минерального азота и фосфора; K_l — скорость разложения легкоокисляемой фракции органического вещества; d_p — доля взвешенного вещества в отмирающем планктоне; d_l — доля лабильной фракции ОВ в отмирающем планктоне; ΔN , ΔP — скорость поступления минеральных соединений азота и фосфора в систему.

P/B_{max} , приводит к более интенсивному росту кормового фитопланктона, тем самым улучшаются условия для развития мирного зоопланктона. Вместе с тем возрастает выедание фитопланктона зоопланктоном. В результате такого взаимодействия система приходит в равновесное состояние. Дальнейшее увеличение максимальной удельной продукции фитопланктона не приводит к существенному изменению состояния системы.

Характер сезонной динамики некормового фитопланктона практически не меняется. Наблюдаются два максимума развития: весенний и осенний. Однако общий уровень продукции и биомассы водорослей снижается за счет уменьшения количества биогенных веществ, поскольку увеличение удельной активности фитопланктона ведет к росту трансформации их в органическое вещество донных осадков.

В исходном варианте модели предполагается, что доступные фитопланктону в данный момент биогенные элементы (минеральные соединения азота и фосфора) распределяются между кормовым и некормовым фитопланктоном в одинаковой мере, т. е. $V_N=50\%$, $V_P=50\%$. Увеличение преимущественного потребления минеральных соединений азота кормовым фитопланктоном приводит во всех трех исследуемых озерах к росту доли этой компоненты в фитопланктоне. Причем общая биомасса фитопланктона изменяется незначительно. Аналогичная картина наблюдается при изменении доступного фосфора (V_P). В целом существенных различий в поведении озер разного трофического типа не получено.

Изменение трат на обмен у фитопланктона отражает изменение соотношения между чистой и валовой первичной продукцией, которое, в свою очередь, зависит от соотношения между глубиной слоя перемешивания и фотосинтетическим слоем, т. е. можно косвенно оценить влияние условий перемешивания водных масс на функционирование водных экосистем. Варьирование параметра (R_F^0) сильно влияет как на динамику биомасс фито- и зоопланктона, так и на динамику органического вещества и в большей степени на гидрохимический режим озер. Увеличение этого параметра от 0,10 до 0,30 приводит к снижению общей биомассы фитопланктона на 9,6; 22,8 и 37,0 % в озерах Нарочь, Мястро и Баторино соответственно (см. таблицу). Биомасса фитопланктона в оз. Нарочь снижается значительно в меньшей степени, чем в озерах Мястро и Баторино. Поскольку в этом озере очень напряженные условия по снабжению автотрофных организмов биогенными элементами, возрастание трат на обмен у фитопланктона ведет к росту регенерации биогенных элементов, а следовательно, к улучшению снабжения ими водорослей.

Увеличение параметра R_F^0 приводит также к уменьшению скорости фотосинтеза, снижению максимальных величин биомассы фитопланктона. В оз. Нарочь наблюдается снижение осеннего пика развития водорослей и увеличение весеннего. Их отношение с повышением R_F^0 снижается с 2,50 до 1,66. В оз. Баторино максимум развития фитопланктона сдвигается с июля на август, т. е. ведет к запаздыванию его развития. Задержка в развитии способствует, в свою очередь, накоплению в этот период биогенных веществ, которые в значительной степени реализуются во время осенней вспышки развития водорослей.

Таким образом, результаты проведенного анализа чувствительности модели показали, что наиболее существенное влияние на функционирование модели оказывают внешние по отношению к системе параметры (ΔN , ΔP — скорость поступления биогенов со стоком и со дна водоемов). В меньшей степени влияет изменение параметров, связанных с функционированием планктонного сообщества водоемов. Причем существенных различий в поведении озер разного трофического типа не получено.

Предпочтение в потреблении биогенов той или иной группой фитопланктона, т. е. конкуренция водорослей за биогенные элементы, может привести к значительным сдвигам в его структуре при относительно постоянной величине общей биомассы и продукции водорослей. Существенное влияние на гидробиологический режим озер оказывает изменение удельных трат на обмен у фитопланктона.

Список литературы

1. Джефферс Дж. // Введение в системный анализ: применение в экологии. М., 1981. С. 220.
2. Умноў А. А., Іконнікаў В. Ф. // Весці АН БССР. Сер. біял. навук. 1982. № 5. С. 95.
3. Иконников В. Ф., Умнов А. А. // Экологическая система Нарочанских озер. Минск, 1985. С. 246.
4. Jorgensen S. E. // Proc. Int. Sci. Workshop Ecosyst. 1981. V. 2. P. 125.
5. Максимей И. В. // Математическое моделирование больших систем. Минск, 1985. С. 72.

УДК 004.4 : 634.11 : 615.777/779

Л. И. КОЛУПАЕВА, Л. Н. ЖУКОВСКАЯ,
Л. С. МИКУЛОВИЧ, Н. К. СОКОЛОВА

ХРАНЕНИЕ ЯБЛОК В УСЛОВИЯХ РЕГУЛИРУЕМОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНТИСЕПТИКОВ

В продовольственной программе СССР особое внимание уделяется сохранению полученной продукции на всех этапах товародвижения: при уборке, транспортировке, хранении, переработке и доставке ее потребителю. Потери урожая яблок при хранении обусловлены преимущественно развитием заболеваний, вызванных микроорганизмами, чему благоприятствует большое содержание воды и легко усвояемых питательных веществ в плодах яблони. Зараженность поверхности плодов микроорганизмами и количественный состав микрофлоры не постоянны; численность микроорганизмов на поверхности плодов яблони доходит до десятков тысяч [1]. Применение химических и физических средств защиты плодовоовощной продукции позволяет резко сократить потери при хранении [2].

Материал и методика

Эксперименты проведены на яблоках сортов Антоновка обыкновенная, Уэлси, Банановое, Осеннее полосатое. Плоды исследуемых сортов отбирали средней величины без повреждения со свойственной сортам