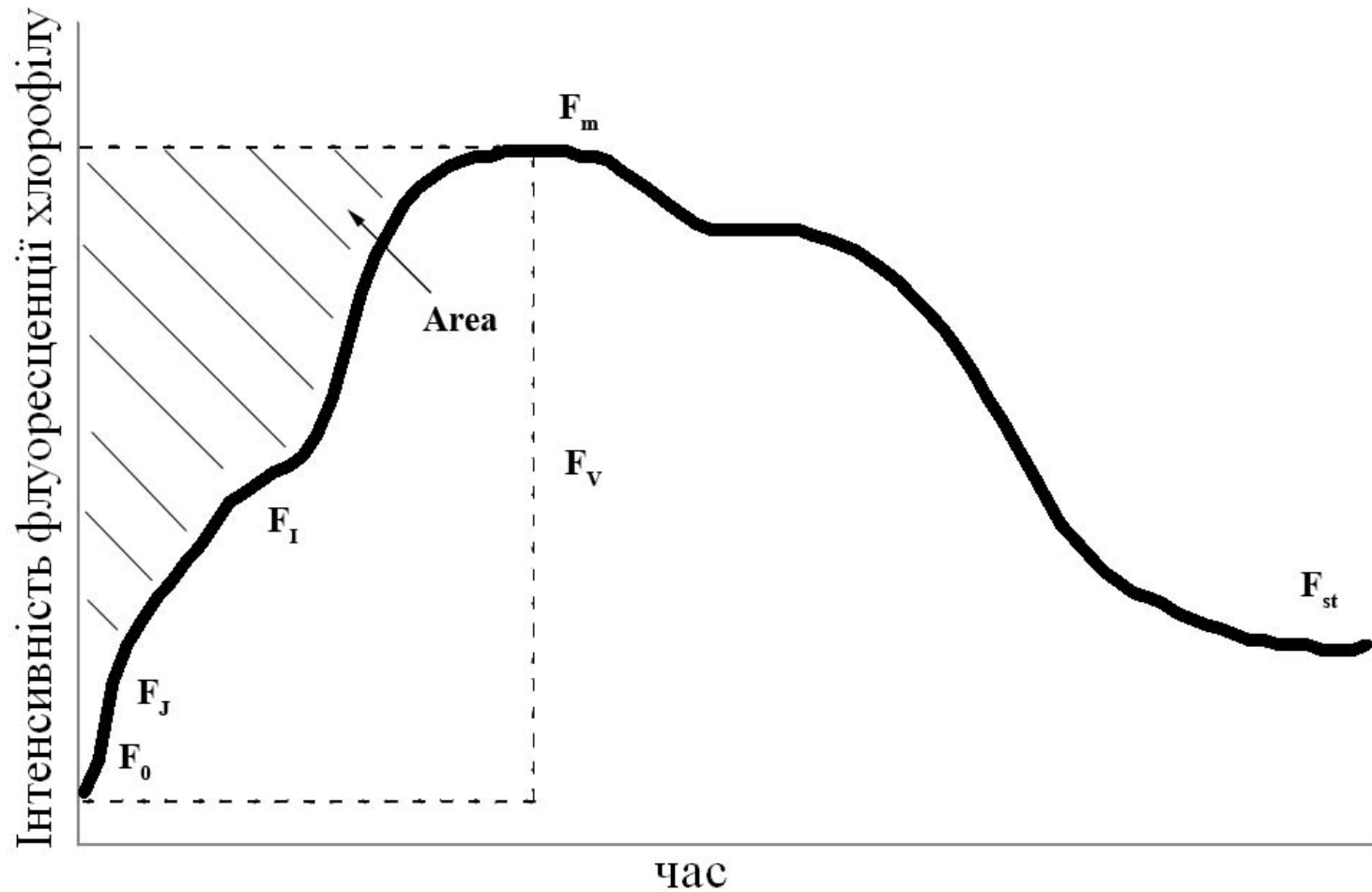


# **ВИПРОБУВАННЯ БЕЗПРОВІДНОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО БІОСЕНСОРУ**

**д.т.н., проф. В.О. Романов,  
к.т.н. І.Б. Галелюка, В.М. Груша, В.М. Лаврентьєв,  
Г.В. Антонова, О.В. Ковирьова**

# Типова крива індукції флуоресценції хлорофілу



# Характерні параметри типової кривої індукції флуоресценції

- $F_0$  – "фоновий" (початковий) рівень флуоресценції;
- $F_m$  – максимальний рівень флуоресценції хлорофілу;
- $F_{st}$  – стаціонарний рівень флуоресценції;
- $F_v = F_m - F_0$  – активність, що характеризує світлову стадію фотосинтезу;
- $F_m/F_{st}$  – розрахунковий параметр, який характеризує ефективність темної стадії фотосинтезу та ефективність поглинання вуглекислого газу;
- $K_i = (F_m - F_{st})/F_m$  – коефіцієнт ІФХ, який зменшується під дією стресових чинників;
- $F_v/F_m$  – розрахунковий параметр, який характеризує ефективність фотохімічних реакцій;
- $R_{fd} = (F_m - F_{st})/F_{st}$  – індекс життєдіяльності рослини;
- $F_j$  – флуоресценція в точці J (приблизний час 2 мс);
- $F_i$  – флуоресценція в точці i (приблизний час 30 мс);
- $V_j = (F_j - F_0)/(F_m - F_0)$  – відносна змінна флуоресценція (відносно точки J);
- $V_i = (F_i - F_0)/(F_m - F_0)$  – відносна змінна флуоресценція (відносно точки I);
- $V_{st} = (F_{st} - F_0)/(F_m - F_0)$  – відносна змінна флуоресценція (відносно стаціонарного рівня)

$Area = \int_{t_{F_0}}^{t_{F_m}} (F_m - F_t) dt$ ,  $t_{F_0}$   $t_{F_m}$  – час вимірювання параметрів  $F_0$  та  $F_m$  відповідно. Area, площа над кривою ІФХ між  $F_0$  та  $F_m$ . Даний параметр може бути використаний в якості індикатора змін у формі кривої ІФХ між  $F_0$  і  $F_m$ , які можуть бути не очевидні з інших параметрів.

# Експерименти з дослідження впливу навколишнього середовища та стресових факторів на флуоресценцію хлорофілу

Рослини лободи були вирощені в 12 горщиках, по три-чотири рослини на горщик. Рослини було розділено на 4 групи з різними дозами внесення  $\text{CuSO}_4$ , який було розчинено у воді та внесено у ґрунт.

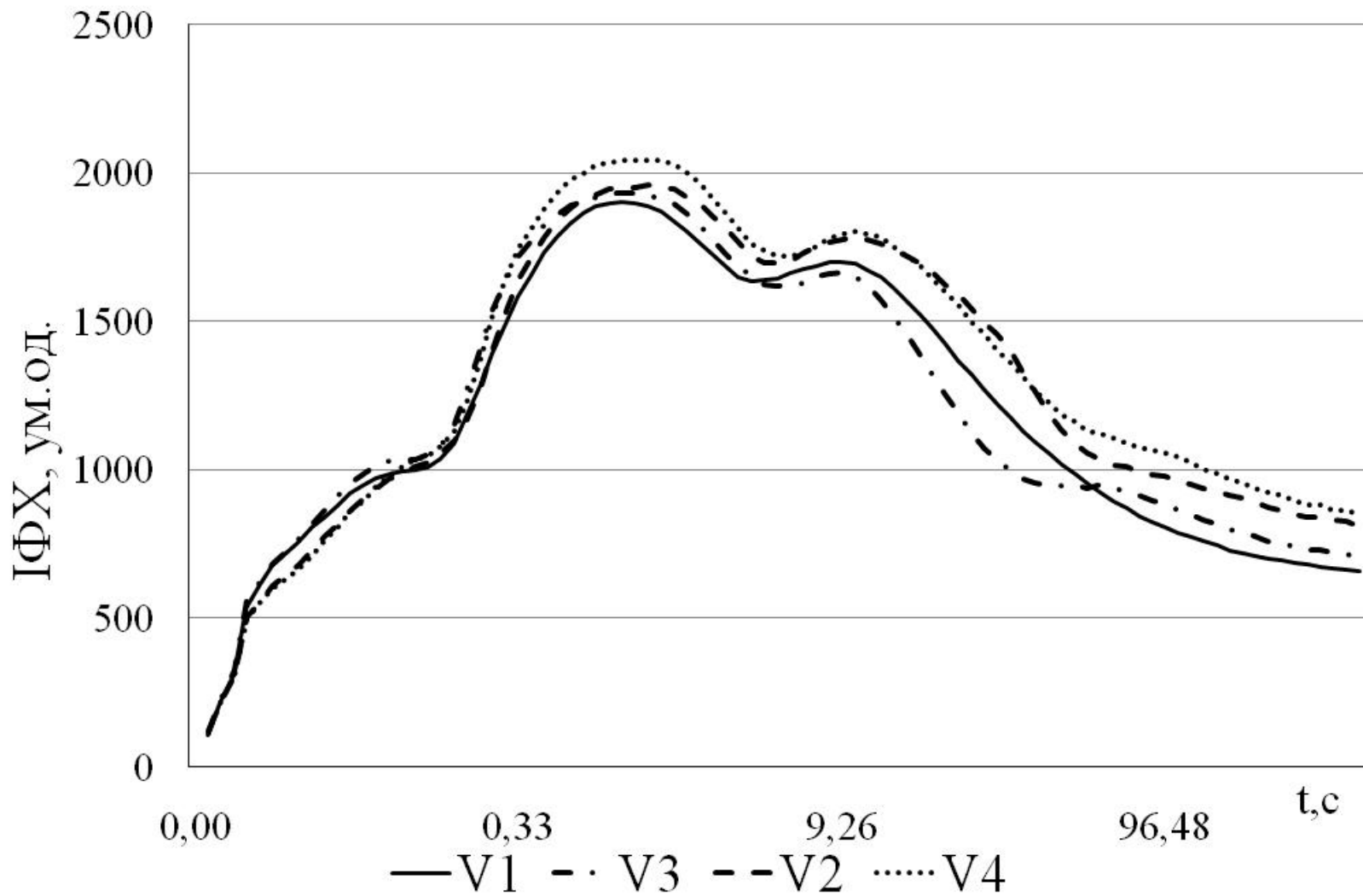
Група V1 – контрольна група без внесення  $\text{CuSO}_4$ .

Група V2 – 1 г  $\text{CuSO}_4$  / 1 кг ґрунту.

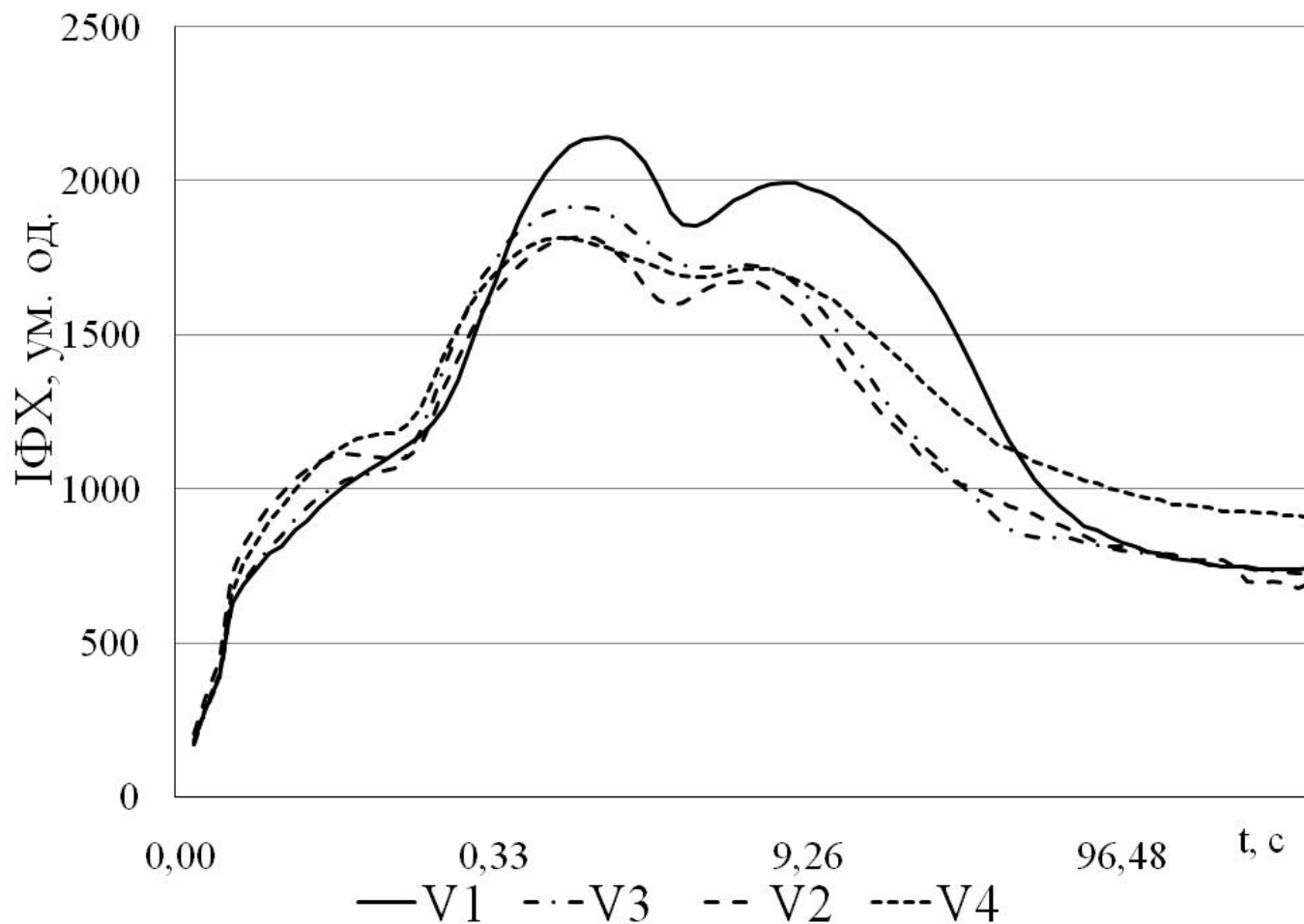
Група V3 – 3 г  $\text{CuSO}_4$  / 1 кг ґрунту.

Група V4 – 6 г  $\text{CuSO}_4$  / 1 кг ґрунту.

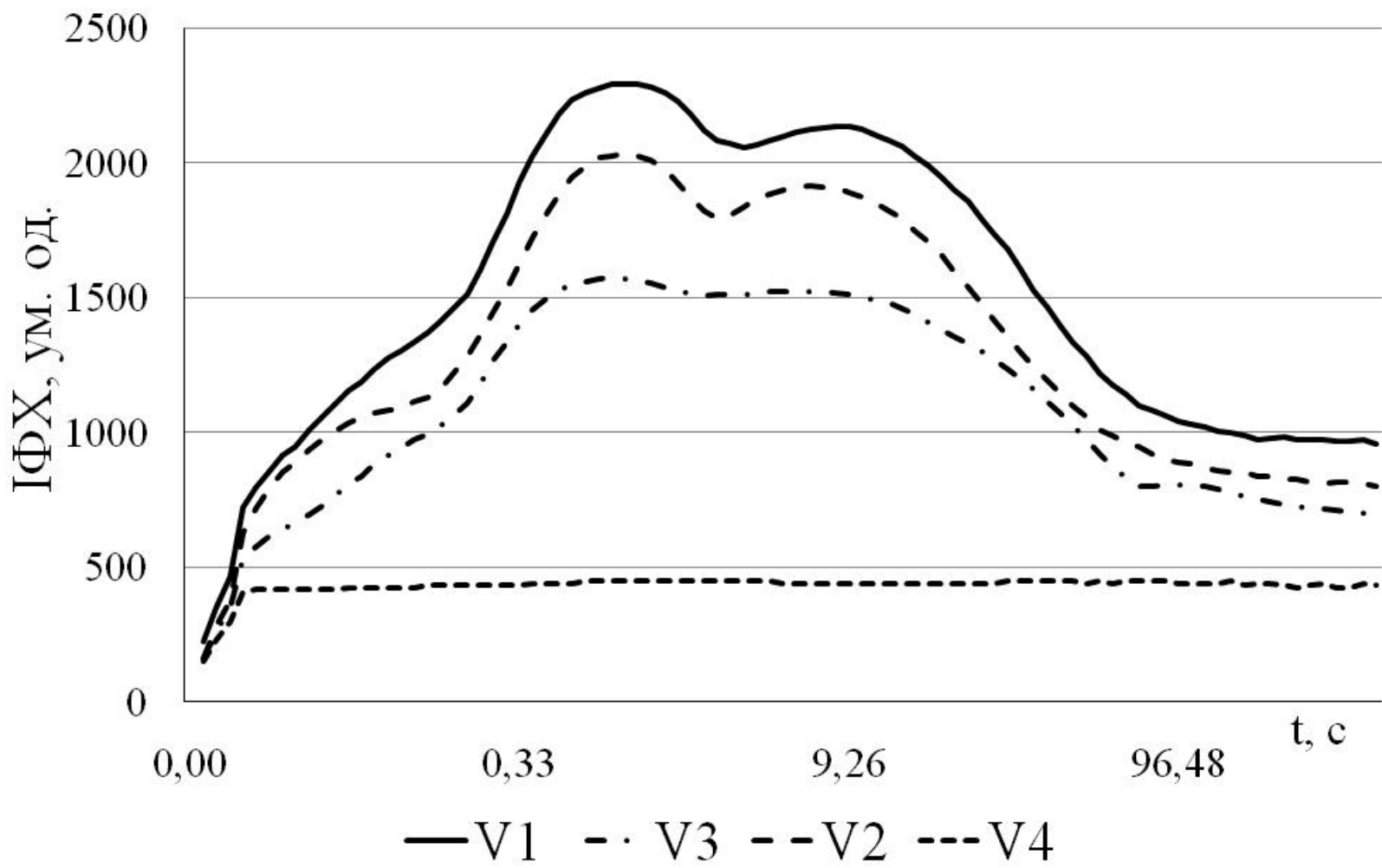
Експеримент проводився протягом 13 днів.



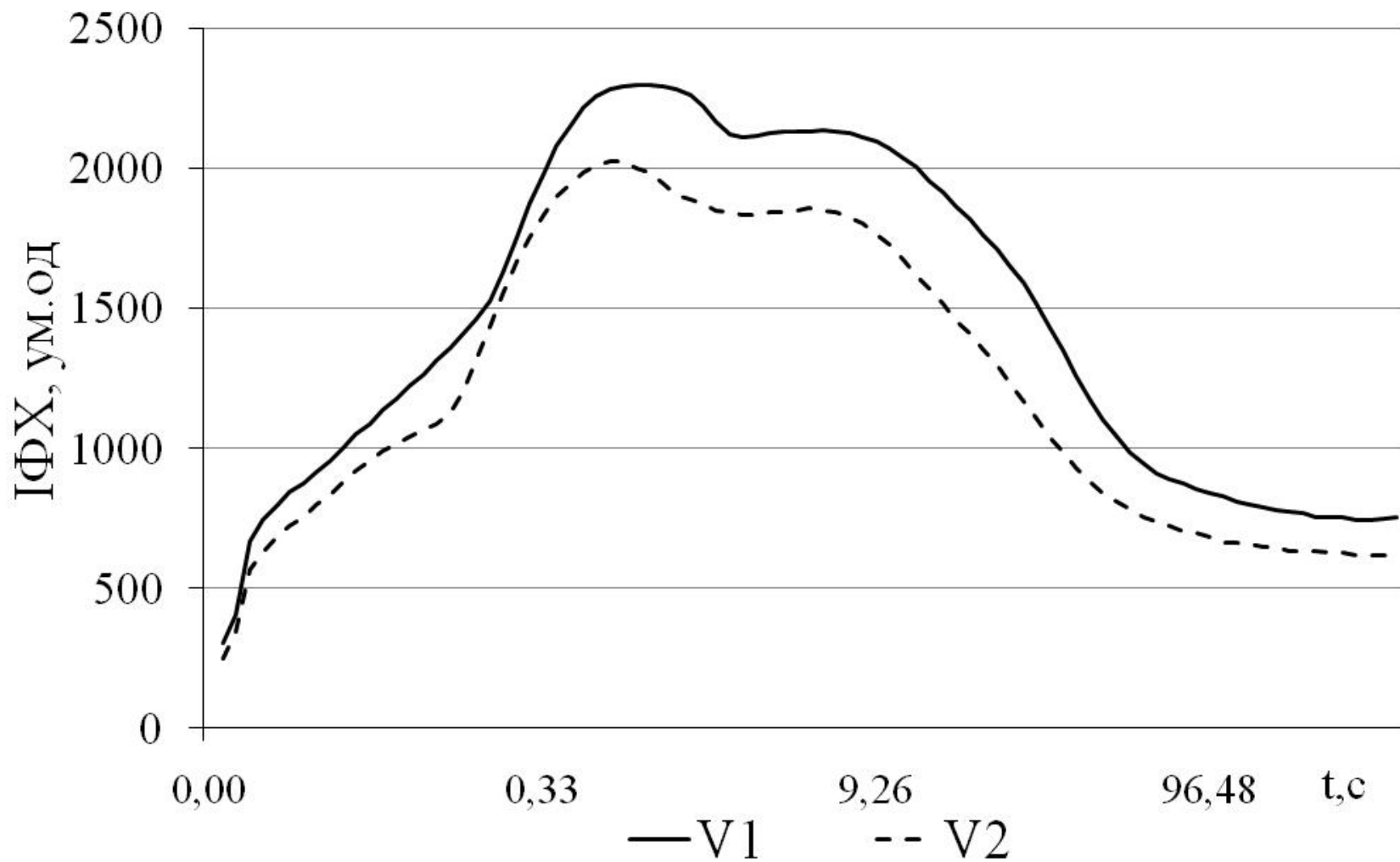
Інтенсивність флуоресценції хлорофілу лободи  
до внесення токсиканту



Інтенсивність флуоресценції хлорофілу лободи на другий день дії токсиканту



Інтенсивність флуоресценції хлорофілу лободи на третій день дії токсиканту

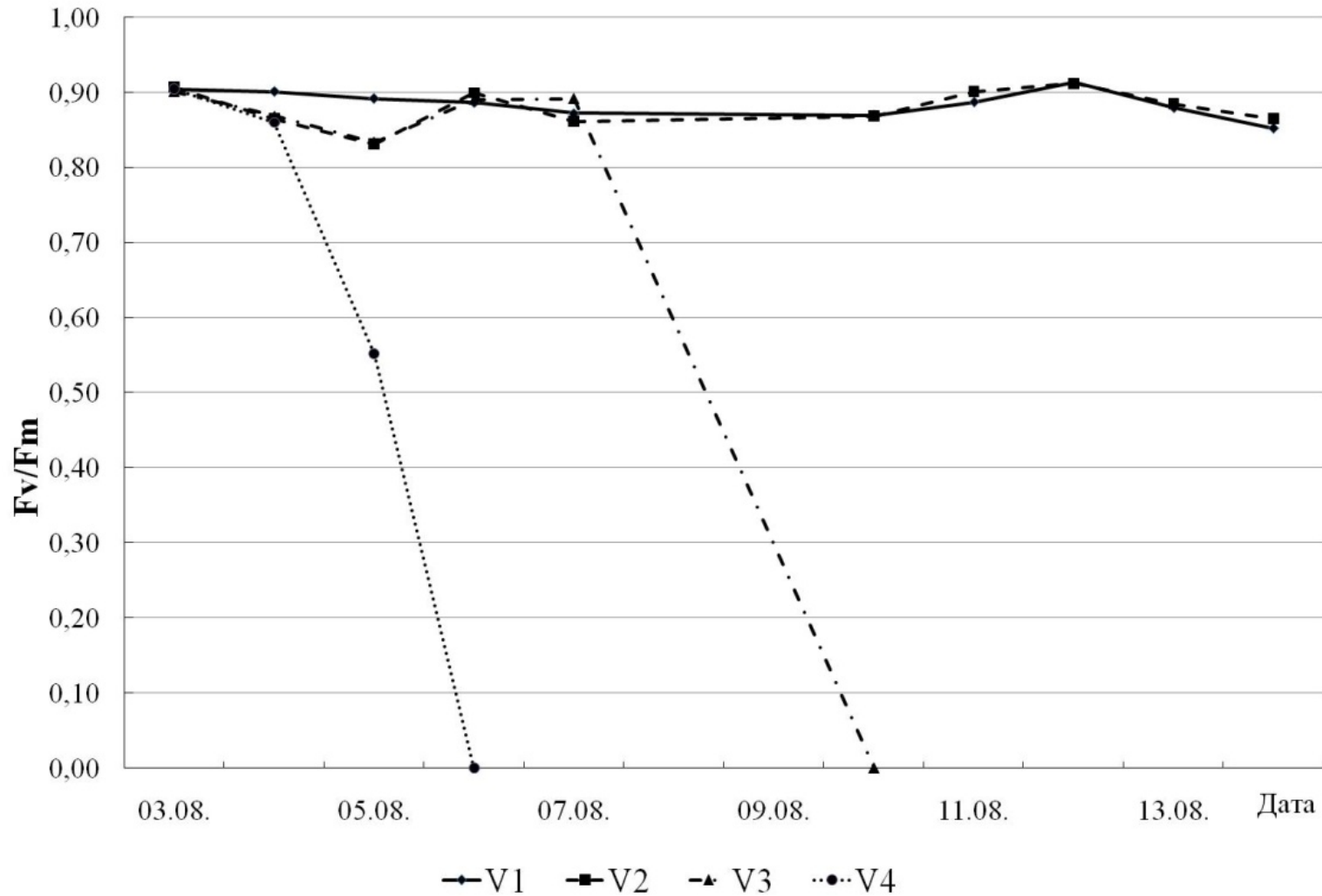


Інтенсивність флуоресценції хлорофілу лободи на  
тринадцятий день дії токсиканту



# УСЕРЕДНЕНІ ПАРАМЕТРИ ФЛУОРЕСЦЕНЦІЇ ХЛОРОФІЛУ

	$F_0$				$F_{st}$				$F_m$			
дата	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
03.08.	182	180	176	181	599,2	625,8	569,6	773,3	1891	1996	1846	2030
04.08.	206,667	227	223	241	610,67	605,33	689,33	802,67	2091	1816	1774,667	1694,67
05.08.	233	210	185	128	701	596	537	264	2149,333	1980,00	1162,67	284
06.08.	233	210	228	0	714,667	578,00	644	0	2056	2122	2084	0
07.08.	272	222	204		795,636	536	588		2060	1772	1880	
10.08.	253	240	0		589	530	0		1997	1963	0	
11.08.	237	204			641	522			2097	2076	0	
12.08.	186,667	192			608	562			2152	2178		
13.08.	226,67	234			594,667	554,0			1838,667	2028		
14.08.	220	194			609,33	556			2162,667	2070		
	$F_v = F_m - F_0$				$F_v / F_m$				Rfd			
дата	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4
03.08.	1708,8	1816,89	1670,4	1848,89	0,904	0,910	0,905	0,911	2,156208	2,190341	2,241573	1,625287
04.08.	1884,0	1589,33	1552,0	1453,21	0,901	0,875	0,875	0,858	2,423581	2	1,574468	1,111296
05.08.	1916,0	1770,00	977,33	156,00	0,891	0,894	0,841	0,549	2,064639	2,322148	1,163772	0,075758
06.08.	1822,7	1912,00	1856,0	0,00	0,887	0,901	0,891	0,000	1,876866	2,67128	2,236025	0
07.08.	1795,6	1550,00	1676,0		0,872	0,875	0,891		1,588665	2,30597	2,197279	
10.08.	1744,0	1723,00	0		0,873	0,878	0,000		2,38914	2,703774	0	
11.08.	1860,0	1872,00			0,88684	0,90173			2,27027	2,977011	0	
12.08.	1965,3	1986,00			0,913	0,91185			2,539474	2,875445		
13.08.	1612,0	1794,00			0,877	0,885			2,091928	2,66065		
14.08.	1942,7	1876,00			0,898	0,906			2,549234	2,723022		



Зміни параметру  $F_v/F_m$  упродовж експерименту

Отримані результати свідчать, що у процесі випробувань біосенсори з високою чутливістю реагували на зміни поточного стану рослин. За цією методикою можна не тільки оцінювати поточний стан рослин, але їх стійкість до посухи, що дозволяє використовувати розроблені біосенсори для відбору засухостійких генотипів рослин.

За аналогічними методиками і програмами випробувань біосенсори визначали водний дефіцит рослин сої, оцінювали жаростійкості рослин, реакцію рослин на внесення добрив. У всіх випадках за допомогою біосенсорів була визначена точка не повернення рослин у нормальний стан після дії стресового фактору.

Окремо виявлявся вплив метеопараметрів довкілля на форму кривої ІФХ, а саме, температури ґранту і повітря, вологості ґрунту і повітря, сонячної радіації і т.п. Це є важливим впливовим чинником при застосуванні біосенсорів у системах довготривалого екологічного моніторингу, який треба враховувати при аналізі даних моніторингу.

# ВИСНОВКИ

1. Розроблені методика і програма випробування інтелектуального біосенсору, в основу яких покладено польовий однофакторний агротехнічний короткотерміновий експеримент з аналітичним і графічним аналізом даних, що надало високу наочність і інформативність оцінки результатів випробувань біосенсорів
2. Розроблений програмний продукт в середовищі Microsoft Office Excel для автоматизованого розрахунку параметрів флуоресценції хлорофілу, які отримані у процесі випробувань біосенсорів, що дозволило одночасно розраховувати параметри індукції флуоресценції хлорофілу для численних вимірів ІФХ, визначити статистичні показники та усереднені значення кривих ІФХ для кожної групи рослин і, як наслідок, суттєво спростити аналіз результатів випробувань.
3. Здійснені випробування бездротових біосенсорів на рослинах в умовах дії стресів різної природи: водного дефіциту, спеки, внесення добрив. Результати випробувань показали високу чутливість розроблених біосенсорів до дії стресових факторів, а також можливість їх використання для відбору посухостійких і жаростійких видів рослин.

# ВИСНОВКИ (продовження)

4. Шляхом випробувань з подальшим кореляційним аналізом враховані умови застосування біосенсорів в системах екологічного моніторингу при різкій зміні метеопараметрів довкілля.
5. У результаті випробувань біосенсорів була виявлена можливість методом ІФХ визначати вид рослини. Ця властивість методу ІФХ була доведена на наборі різних видів рослин, для яких за допомогою біосенсорів у ідентичних умовах вимірювалася ІФХ. Розпізнавання виду рослини за даними вимірів здійснювалося за допомогою апарату нейронних мереж.
6. У результаті випробувань біосенсорів був застосований новий графоаналітичний метод для оцінки стану рослин шляхом виміру параметрів швидкої фази ІФХ. За цими параметрами можна не тільки розрізнити дії того чи іншого стресу на групу дослідних рослин, але й визначити рівень стресового фактору, який викликає незворотний стан рослини внаслідок дії стресових факторів різної природи.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ**