

ЕЛЕМЕНТИ СТОХАСТИКИ В ЗАКОНАХ МЕНДЕЛЯ

Стаття присвячена питанням формування в учнів закладів загальної середньої освіти наукового уявлення про статистичний характер законів спадковості Грегора Менделя. У статті зазначається, що засвоєння учнями сутності статистичного характеру законів Менделя, можливо лише за умови сформованості у них знань з основ комбінаторики, теорії ймовірностей та статистики, що є предметом стохастики. Вказано, що ознайомлення учнів з елементами стохастики передбачено змістом навчальної дисципліни «Математика. 9 клас», а формування в учнів уявлення про статистичний характер законів Менделя – змістом навчального предмета «Біологія і екологія. Профільний рівень. 10 клас». Зазначено, що у відповідному підручнику, рекомендованому Міністерством освіти і науки України, дане поняття не висвітлюється. Звернута увага на відсутність вітчизняних наукових досліджень з методики формування в учнів знань про статистичний характер законів спадковості, і тому – на актуальність розроблення методичної підтримки учителів з даного питання.

Схарактеризований приклад пояснення учням змісту статистичного характеру законів Менделя, тобто того, чому результати реальних схрещувань та їх кількісні співвідношення часто не співпадають з теоретично очікуваними. На прикладах показано, що, оскільки менделівські розщеплення підпорядковуються закону великих чисел, для визначення відповідності здобутих у досліді даних теоретично очікуваним можна використати критерій відповідності χ^2 -квадрат (χ^2). Наведений приклад розв'язання типової задачі на встановлення характеру успадкування ознаки при моногібридному схрещуванні з використанням методу χ^2 . Наголошено, що упровадження ймовірнісно-статистичної змістової лінії в шкільний курс генетики забезпечить якісне розуміння учнями законів Менделя, що необхідно для формування у них ключових компетентностей щодо застосування математичних методів для розв'язування проблем спадковості та мінливості, а також уміння пояснювати генетичні явища, використовуючи наукове мислення. Крім того, учні будуть краще розуміти, що більшість процесів у природі не є строго детермінованими, що детерміністичний підхід до їх вивчення є першим наближенням до дійсності, наступний крок на шляху пізнання – стохастичний підхід.

Ключові слова: закони Менделя, стохастика, ймовірнісно-статистичні методи генетичного аналізу, критерій χ^2 .

Постановка проблеми. Одним з ключових завдань навчання біології в закладах загальної середньої освіти (ЗЗСО) є «формування наукової картини живої природи на основі засвоєння учнями системи біологічних знань» [7]. Складовими цієї системи є такі наукові поняття як «факт», «гіпотеза», «закономірність», «закон», «теорія».

За визначенням «закон» – це внутрішній істотний та стійкий зв'язок явищ, що обумовлює їх впорядковану зміну [16]. Реалізація закону залежить від наявності відповідних умов. Створення таких умов забезпечує перехід наслідків, що випливають із закону, зі сфери можливого у сферу дійсного. Виходячи з цього, метою вивчення біологічних законів повинно бути формування в учнів розуміння існування в живій природі різноманітних стійких повторюваних зв'язків між явищами і процесами, які реалізуються за певних умов.

Одними з фундаментальних біологічних законів, що вивчаються у ЗЗСО, є закони спадковості, відкриті Грегором Менделем. Оцінюючи значення відкриттів Грегора Менделя для розвитку науки, видатний радянський генетик М.В. Тимофеев-Ресовський

писав: «Його (Менделя) велич у тому, що знаючи і враховуючи усі явища, відкриті (його попередниками), але точно не проаналізовані, він так поставив свої досліди і обробив їх результати, що зміг дати точний, кількісний аналіз успадкування та перекомбінування елементарних спадкових факторів у ряду поколінь. З отриманих у такий спосіб експериментальних даних він зміг сформулювати ймовірно-статистичні та комбінаторні закономірності спадковості. У цьому Г. Мендель випередив свій час, ставши піонером істинного впровадження строгого математичного мислення у біологію» [10].

Досвід багаторічної роботи зі школярами, що беруть участь у Всеукраїнській учнівській олімпіаді та інших інтелектуальних змаганнях з біології, вказує на недостатню сформованість у них уявлень про статистичний характер законів Менделя: в учнів виникають труднощі з розв'язуванням генетичних задач, що містять кількісні результати схрещувань (зокрема такі, що відхиляються від теоретично очікуваних співвідношень), з виконанням завдань, що передбачають встановлення кількості генів, що контролюють альтернативні ознаки, тощо. На існування даної проблеми вказує у своїй монографії й О.В. Комарова [11]. Обґрунтовуючи методику формування підсистеми генетичних знань в учнів 11 класу, вона зазначає, що однією з причин помилок учнів при розв'язуванні генетичних задач, що містять кількісні результати схрещування, є недостатнє розуміння умов достовірності законів Менделя.

Практика показує, що вирішити дану проблему можна лише тоді, коли в учнів будуть сформовані уявлення про зв'язок випадкового та закономірного, про статистичні та динамічні залежності. А це є предметом вивчення стохастики (від грецьк. *stochazomai* – припускати) – вчення про ймовірності. На думку відомого математика Б. Гнеденка, «теорія ймовірностей є одним з найефективніших засобів кількісного дослідження різноманітних явищ природи. Ця теорія надає досліднику не тільки і не стільки обчислювальний апарат пізнання, скільки найширші концепції, що уможливають знаходження порядку і закономірності там, де класичний детерміністичний підхід є безсилим» [8].

Згідно діючої навчальної програми з математики для ЗЗСО [14] ознайомлення учнів з основними поняттями теорії ймовірностей відбувається при вивченні останньої теми курсу алгебри 9-го класу (тема 4. Основи комбінаторики, теорії ймовірностей та статистики). Згідно діючої навчальної програми з біології для ЗЗСО [4] вивчення закономірностей спадковості теж починається у 9-му класі (тема 5. Закономірності успадкування ознак). Однак, ознайомлення учнів зі статистичним характером законів спадковості Г. Менделя та причинами відхилень від встановлених Г. Менделем кількісних співвідношень при розщепленні передбачено лише у 10-му класі під час вивчення теми «Спадковість та мінливість» профільного навчального предмета «Біологія і екологія» [5].

В той же час, у змісті даної теми єдиного наразі підручника («Біологія і екологія (профільний рівень): підручник для 10 класу закладів загальної середньої освіти»), електронна версія якого оприлюднена на сайті МОНУ [9], відсутня теоретична і практична інформація, яка б розкривала сутність статистичного характеру законів генетики. Тому є актуальною методична підтримка учителів та учнів з даного питання.

Аналіз актуальних досліджень. Питання щодо проведення статистичного аналізу при розв'язуванні задач з генетики висвітлені в навчальних та навчально-методичних посібниках, зокрема, Л.О. Атраментової, Д.М. Голди зі співавт., О.Г. Лановенко зі співавт. та інших. У збірниках задач [1, 2] Л.О. Атраментова вказує на те що, при вирішенні ряду задач потрібно перевірити відповідність експериментальних результатів висунутій генетичній гіпотезі, тому що повного збігу між ними не буває, і надає приклади розв'язування таких задач з використанням критерію χ^2 . У навчальному посібнику «Задачі з генетики» [6] Д.М. Голда зі співавт. зазначає, що у зв'язку з тим, що процес запліднення має випадковий характер, менделівські розщеплення підпорядковані закону великих чисел, і для визначення відповідності здобутих у досліді даних теоретично очікуваним рекомендує користуватися двома методами: (1) обчислення похибки репрезентативності при якісній мінливості і (2) визначення критерію відповідності χ^2 . У навчально-

методичному посібнику О.Г. Лановенко зі співавт. [13] аналізу відхилень від менделівських формул розщеплення присвячений V розділ.

Проте, серед надбань вітчизняних науковців і педагогів практично відсутні цілеспрямовані методичні дослідження щодо формування знань і умінь проведення статистичного аналізу законів Менделя.

Мета статті: схарактеризувати приклад формування в учнів ЗЗСО знань про статистичний характер законів Менделя.

Виклад основного матеріалу. Пояснення. Згідно II-го закону Менделя (закону розщеплення): у разі моногібридного схрещування при схрещуванні гібридів першого покоління у другому поколінні гібридів спостерігається розщеплення за фенотипом 3:1. Згідно III-го закону Менделя (закону незалежного успадкування ознак): у разі дигібридного схрещування при схрещуванні гібридів першого покоління у другому поколінні гібридів за кожною парою альтернативних ознак спостерігається розщеплення за фенотипом 3:1 (тобто співвідношення фенотипів у другому поколінні гібридів становить 9:3:3:1).

Співвідношення фенотипів 3:1 у другому поколінні при моногібридному схрещуванні та 9:3:3:1 – при дигібридному схрещуванні обумовлені тим, що (1) алелі можуть бути домінантними і рецесивними, (2) алелі розходяться до різних гамет, (3) гени, що контролюють різні ознаки, успадковуються незалежно, (4) відбувається випадкове злиття гамет при заплідненні.

Ймовірності трьох останніх подій піддаються випадковим відхиленням, як і підкидання монет з наступним їх падінням «орлом» або решкою». Ймовірність випадання «орла», як і ймовірність випадання «решки» дорівнює $1/2$. Тому очікуване співвідношення результатів підкидання монет становить 1:1. В результаті на 1000 підкидань вийде приблизно 500 падінь монети «орлом» і 500 – «решкою». Однак, через випадкові відхилення від очікуваного може відбутися 486 падінь на «орла» і 514 – на «решку». Якщо кількість підкидань мала, то ймовірність відхилень вища. Припустимо, що при чотириразовому підкиданні монети може відбутися таке, що вона впаде на один і той самий бік усі 4 рази, однак при 1000 підкидань таке вже є не можливим. В дійсності при 1000 підкидань падіння на «орла» або на «решку» повинні відбуватися з ймовірністю $(1/2)^{1000}$. Оскільки $(1/2)^{20}$ наближається до мільйону, подія з ймовірністю $(1/2)^{1000}$ є практично не можливою.

Отже зазначимо два важливих моменти:

1. Результат розщеплення та незалежного комбінування, як і підкидання монет, варіюють випадковим чином. Це пояснюється випадковими відхиленнями від теоретичних значень величин.

2. Зі збільшенням розміру вибірки середнє відхилення від очікуваної величини зменшується.

Припустимо, що отримані дані знаходяться у співвідношенні 1:1, 3:1 або 9:3:3:1, тобто є нульова гіпотеза (H_0). Термін «нульова» вказує на те, що між вимірюваними і передбачуваними величинами (або співвідношеннями цих величин) немає суттєвої різниці, а можливі відмінності пов'язані з випадковими відхиленнями. Нульову гіпотезу можна (1) прийняти або (2) відхилити. В першому випадку будь-які відхилення від очікуваних величин належать до випадкових. У другому випадку різниця між фактичними і теоретично очікуваними величинами пов'язана не лише з випадковими відхиленнями, тому нульову гіпотезу слід переглянути.

Для оцінки нульової гіпотези розроблений простий статистичний метод хі-квадрат (χ^2). Цей метод враховує відхилення від очікуваного і розмір вибірки та зводить їх до однієї величини. Значення χ^2 використовується для оцінки частоти випадкових відхилень величини, що спостерігається (фактичний результат), і, що теоретично очікується:

$$\chi^2 = \sum (o-e)^2/e,$$

де o – фактичний результат, e – теоретично очікуваний результат.

Оскільки $(o-e)$ є відхиленням від очікуваного (d), то це рівняння можна записати, як:

$$\chi^2 = \sum d^2/e.$$

Застосувавши цей метод до даних, представлених у табл. 1 та 2, можна переконатися, що незначні відхилення у дослідах Менделя від очікуваного співвідношення, є недостовірними або випадковими.

Таблиця 1.

Розрахунок значення χ^2 для другого покоління при моногібридному схрещуванні

Очікуване співвідношення	(о)	(е)	(о – е)	(d ²)	d ² /e
3/4	740	$\frac{3}{4}(1000)=750$	740-750=-10	(-10) ² =100	100/750=0,13
1/4	260	$\frac{1}{4}(1000)=250$	260-250=+10	(+10) ² =100	100/250=0,40
					$\chi^2=0,53$
	1000				p=0,48

Таблиця 2.

Розрахунок значення χ^2 для другого покоління при моногібридному схрещуванні

Очікуване співвідношення	(о)	(е)	(о – е)	(d ²)	d ² /e
9/16	587	567	+20	400	0,71
3/16	197	3/16	+8	64	0,34
3/16	168	3/16	-21	441	2,33
1/16	56	63	-7	49	0,78
					$\chi^2=4,16$
	1008				p=0,26

Значення χ^2 стосовно ймовірності (p) результатів можна інтерпретувати після визначення числа ступенів свободи (df) – кількості одиниць, що вільно варіюють у складі чисельно обмеженої статистичної сукупності. Ця величина розраховується за формулою: $df=n-1$, де n – кількість різних класів вимірювань (у прикладах, що розглядаються – кількість класів розщеплення). Отже, при співвідношенні фенотипів 3:1 $n=2$, тому $df=2-1=1$, а при співвідношенні фенотипів 9:3:3:1 $n = 4$, тому $df=4-1=3$.

Число ступенів свободи необхідно враховувати, оскільки зі збільшенням числа класів зростає й відхилення від теоретично очікуваної величини. Зазвичай значення ймовірності (p) визначають за допомогою спеціальних таблиць [3, 12, 15] (табл. 3).

Таблиця 3.

Значення χ^2 при різних ступенях свободи (за П.Ф. Рокицьким, із скороченнями)

Число ступенів свободи, df	Ймовірність, p		
	0,05	0,01	0,001
1	3,84	6,64	10,83
2	5,99	9,21	13,82
3	7,82	11,34	16,27
4	9,49	13,28	18,47

Якщо обчислене значення χ^2 не перевищує табличне значення, яке знаходиться у графі з ймовірністю 0,05, то фактично отримані дані відповідають теоретично очікуванім. Якщо обчислене значення χ^2 менше табличного при ймовірності 0,05, то це свідчить про більш точну відповідність фактично отриманих даних теоретично очікуванім. Якщо обчислене значення χ^2 перевищує табличне значення при ймовірності 0,05, то фактично отримані дані не відповідають теоретично очікуванім.

Розберемося у змісті величини p на прикладі дигібридного схрещування, коли $p=0,26$ (табл. 2). Це значення показує, що при багаторазовому повторенні експерименту у 26%

спроб випадкові відхилення вимірюваної величини будуть більшими, ніж у першій спробі (експерименті). У 74% спроб випадкові відхилення вимірюваної величини будуть меншими, ніж у першому експерименті. Зі сказаного зрозуміло, що гіпотеза про співвідношення фенотипів 9:3:3:1 не може бути повністю доведеною або спростованою.

Для прийняття чи відмови від нульової гіпотези необхідний відносний стандарт, зазвичай у біологічних дослідженнях це значення $p=0,05$. При $p \leq 0,05$ отримані відхилення є випадковими, а очікувані результати будуть спостерігатися у менше, ніж 5% спроб. Іншими словами, різниця між фактичним результатом і очікуваним є суттєвою, і нульову гіпотезу можна відхилити. Якщо значення p від 0,05 до 1,0, то відхилення від очікуваної величини також випадкові, а очікувані результати спостерігаються у більш, ніж 5% спроб, тому нульову гіпотезу можна прийняти. Отже, при $p=0,26$ гіпотеза про незалежне комбінування є істинною, і відхилення є випадковими.

Задача для розв'язання. В лабораторії схрестили мух з нормальними крилами з мухами з обрізаними кінчиками крил (мутація *dumpy*). У першому поколінні усі мухи мали нормальні крила, а у другому у 792 мух були нормальні крила, а у 208 – крила з обрізаними кінчиками. Студенти, що проводили схрещування, за допомогою метода χ^2 , вирішили, що мутація *dumpy* успадковується як рецесивна. Дайте відповіді на питання: 1. Яке співвідношення мух прогнозувалося у другому поколінні? 2. Чи підтвердився цей прогноз за допомогою критерію χ^2 ? 3. Що можна сказати про мутацію *dumpy*?

Розв'язання.

1. Співвідношення 792:208 теоретично відповідає співвідношенню при моногібридному схрещуванні – 3:1, що свідчить про рецесивність алеля *dumpy*.

2. Для статистичного аналізу за допомогою критерію χ^2 обчислимо очікувані при розщепленні 3:1 кількості двох класів нащадків (*e*). Потім обчислимо стандартне відхилення (*d*). Результати оформимо у вигляді таблиці.

Очікуване співвідношення	(o)	(e)	(o – e)	(d ²)	d ² /e
3/4	792	750	42	1764	2,35
1/4	208	250	-42	1764	7,06
Всього	1000			$\chi^2 = 2,35+7,06=9,41$	

У табл. 3 знаходимо значення p при ступені свободи 1. Воно знаходиться між $p=0,01$ (6,64) та $p=0,001$ (10,83). Оскільки $p < 0,005$, нульову гіпотезу можна відхилити, що вказує на те, що результати здійсненого студентами схрещування не відповідають теоретично очікуваній пропорції (3:1) фенотипів у другому поколінні.

Чому? Студенти припускали, що усі генотипи нащадків є однаково життєздатними. А насправді мухи з обрізаними кінчиками крил могли бути менш життєздатними, ніж мухи з нормальними крилами. Тому серед нащадків спостерігалось менше мутантних мух, ніж очікувалося (1/4). Однак, для остаточного з'ясування цього питання потрібні додаткові схрещування.

Висновки. Упровадження ймовірно-статистичної змістової лінії в шкільний курс генетики забезпечить якісне розуміння учнями законів Менделя, що необхідно для формування у них ключових компетентностей щодо застосування математичних методів для розв'язування проблем спадковості та мінливості, а також уміння пояснювати генетичні явища, використовуючи наукове мислення.

Крім того, учні будуть краще розуміти, що більшість процесів у природі не є строго детермінованими, що детерміністичний підхід до їх вивчення є першим наближенням до дійсності, наступний крок на шляху пізнання – стохастичний підхід.

Перспектива подальшого наукового пошуку буде реалізовуватися в напрямі дослідження місця, ролі та змісту стохастичності у системі професійної підготовки учителів біології у закладах вищої освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атраментова, Л.О., Карнацевич, І.Я. (2003). Збірник задач з генетики. Харків: Торсінг. (Atramentova, L.O., Karnatsevich, I.Ya. (2003). Collection of tasks on genetics. Kharkiv: Torsing.).
2. Атраментова, Л.О. (2009). Задачі по генетике. Горловка: ЧП «Видавництво Ліхтар». (Atramentova, L.O. (2009). Tasks on genetics. Gorlovka: PE "Vidavniststvo Likhtar").
3. Атраментова, Л.О., Утевська О.М. (2007). Біометрія, (с. 164). Х.: Ранок. (Atramentova, L.O., Utjevskaya O.M. (2007). Biometrics (pp. 164). Kh.: Morning).
4. Біологія. 6-9 класи. Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-5-9-klas> (Biology. 6-9 classes. Educational program for general educational institutions. Retrieved from: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-5-9-klas>).
5. Біологія і екологія. 10-11 класи. Профільний рівень. Навчальна програма для закладів загальної середньої освіти. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv> (Biology and ecology. 10-11 classes. Profile level. Educational program for institutions of general secondary education. Retrieved from: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv>).
6. Голда, Д.М., Демидов, С.В., Решетняк, Т.А. (2004). Задачі з генетики, (с. 9). Київ: Фітосоціоцентр. (Golda, DM, Demidov, SV, Reshetnyak, T.A. (2004). Tasks on genetics, (pp. 9). Kyiv: Phytosociocenter).
7. Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти (State standard of basic and complete general secondary education. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1392-2011-%D0%BF>).
8. Жалдак, М.І., Біляй І.М. (2013). Стохастика. К.: НПУ імені М.П. Драгоманова. (Zhaldak, MI, Bilya I.M. (2013). Stochastics. K.: NPU named after M.P. Drahomanov).
9. Задорожний, К.М., Утевська, О.М. (2018). Біологія і екологія (профільний рівень): підруч. для 10 кл. закл. заг. серед. освіти, (сс. 108-151). Харків: Вид-во «Ранок». (Zadorozhny, KM, Utjevskaya, O.M. (2018). Biology and ecology (profile level): textbook for 10 cl. institutions of general secondary education, (pp. 108-151). Kharkiv: Morning).
10. Иванов, В.И. (2006). Генетика, (сс.12-20). М.: «Академкнига». (Ivanov, V.I. (2006). Genetics, (pp. 12-20). M.: "Akademkniga").
11. Комарова, О. В. (2017). Теорія і практика формування системи знань старшокласників із загальної біології: монографія. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О. (Komarova, O. V. (2017). Theory and practice of forming a system of knowledge on general biology in senior pupils: a monograph. Kryvyi Rih: Publisher FOP Chernyavsky D.O.).
12. Лакин, С.Ф. (1990). Биометрия, (с.329). М.: Высш. школа. (Lakin, S.F. (1990). Biometrics, (p.329). M.: Exhaust school.).
13. Лановенко, О.Г., Чинкіна, Т.Б. (2005). Від молекул нуклеїнових кислот до людини, (сс. 60-62.). Херсон: Айлант. (Lanovenko, O.G, Chinkina, T.B. (2005). From molecules of nucleic acids to humans. (pp. 60-62.). Kherson: Ayalant).
14. Математика. 5-9 класи. Навчальна програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-5-9-klas>. (Mathematics. 5-9 classes. Educational program for general educational institutions. Retrieved from: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-5-9-klas>).
15. Рокицкий, П.Ф. (1971). Биологическая статистика, (с. 306). Минск: Высшая школа. (Rokitsky, P.F. (1971). Biological statistics, (p. 306). Minsk: Higher school).
16. Філософський Енциклопедичний словник (2002), В.І. Шинкарук (ред.), (с. 220). К.: Абрис. (Philosophical Encyclopedic Dictionary (2002), V.I. Shynkaruk (ed.), (p.220). K.: Abris).

Торяник В. М. Элементы стохастики в законах Менделя.

Статья посвящена вопросам формирования у учащихся учреждений общего среднего образования научного представления о статистическом характере законов наследственности Грегора Менделя. В статье отмечается, что усвоение учащимися сущности статистического характера законов Менделя, возможно только при условии сформированности у них знаний основ комбинаторики, теории вероятностей и статистики, что является предметом стохастики. Указано на то, что ознакомление учащихся с элементами стохастики предусмотрено содержанием учебной дисциплины «Математика. 9 класс», а формирование у учащихся представления о статистическом характере законов Менделя – содержанием учебного предмета «Биология и экология. Профильный уровень. 10 класс». Отмечено, что в соответствующем учебнике, рекомендованном Министерством образования и науки Украины, данное понятие не рассматривается. Обращено внимание на отсутствие отечественных научных исследований по методике формирования у учащихся знаний о статистическом характере законов наследственности, на актуальность разработки методической поддержки учителей по данному вопросу.

Охарактеризован пример объяснения ученикам содержания статистического характера законов Менделя, то есть того, почему результаты реальных скрещиваний и их количественные соотношения часто не совпадают с теоретически ожидаемыми. На примерах показано, что, поскольку менделевское расщепления подчиняются закону больших чисел, для определения соответствия полученных в опыте данных теоретически ожидаемым можно использовать критерий соответствия хи-квадрат (χ^2). Приведен пример решения типичной задачи на установление характера наследования признака при моногибридном скрещивании с использованием метода χ^2 . Отмечено, что внедрение вероятностно-статистической содержательной линии в школьный курс генетики обеспечит качественное понимание учениками законов Менделя, что необходимо для формирования у них ключевых компетентностей по применению математических методов для решения проблем наследственности и изменчивости, а также умения объяснять генетические явления, используя научное мышление. Кроме того, ученики будут лучше понимать, что большинство процессов в природе не являются строго детерминированными, что детерминистический подход к их изучению является первым приближением к действительности, следующий шаг на пути познания – стохастический подход.

Ключевые слова: законы Менделя, стохастика, вероятностно-статистические методы генетического анализа, критерий χ^2 .

Toryanik V. N. Elements of stochastic in Mendel's Laws.

The article is devoted to the questions of formation of a scientific understanding of the statistical nature of the laws of heredity by Gregor Mendel at pupils of the institutions of general secondary education. The article notes that pupils will understand the essence of the statistical nature of Mendel's laws only if they are familiar with the basics of combinatorics, probability theory and statistics, which is the subject of stochastics. It is noted that the familiarization of pupils with elements of stochastics is provided for by the content of the discipline "Mathematics. Grade 9", and the formation of pupils ideas about the statistical nature of Mendel's laws is provided by the content of the subject "Biology and Ecology. Profile level. Grade 10". It is noted that in the relevant textbook recommended by the Ministry of Education and Science of Ukraine, this issue is not addressed. Attention is drawn to the lack of domestic scientific research on the formation of pupils knowledge about the statistical nature of the laws of heredity, it is noted that the development of methodological support for teachers on this issue is relevant.

An example is given of explaining to pupils the content of the statistical nature of Mendel's laws: why the results of real crosses and their quantitative relationships often do not coincide with the theoretically expected ones. The examples show that mendelian splittings obey the law of large numbers, and to determine the fit of the experimentally obtained data to the theoretically

expected ones, you can use the criterion χ^2 . An example is given of solving a typical problem of determining the character of inheritance of a trait during monohybrid crossing using the χ^2 method. It is noted that the introduction of a probabilistic statistical line in the content of the school course of genetics will allow students to understand Mendel's laws qualitatively. This is necessary for the formation of basic competencies in the application of mathematical methods for solving problems of heredity and variability, as well as the ability to explain genetic phenomena with the help of scientific thinking. In addition, pupils will better understand that most of the processes in nature are not strictly deterministic, that the deterministic approach to their study is the first approximation to reality; the next step in the path of knowledge is a stochastic approach.

Keywords: *Mendel's Laws, stochastics, probabilistic-statistical methods of genetic analysis, criterion χ^2 .*