DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559
Научная статья

Изменчивость цветка у лютика едкого (*Ranunculus acris*) как индикатор антропогенного загрязнения среды: научные аспекты эколого-генетического образования школьников

Е.В. Даев
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;
Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

Анализ изменчивости цветка у лютика едкого (*Ranunculus acris*) в выборках из различных популяций демонстрирует антропогенное влияние на окружающую среду. В статье приведены примеры из учебных работ школьников по анализу частоты встречаемости «махровости» цветков лютика в популяциях Северо-Западного региона России. Обсуждаются механизмы действия загрязнения среды поверхностно-активными веществами и ненасыщенными углеводородами. Подчеркнута важность непосредственного совместного участия школьников и преподавателей-профессионалов вузов в экологических исследованиях; наглядности, доказательности и значимости полученных результатов; их грамотного всестороннего обсуждения для формирования био- и экоцентрического мировоззрения. Последнее особенно важно для подготовки квалифицированных научных кадров в области экологической генетики.

Ключевые слова: лютик; махровость цветка; загрязнение; экология; школьное образование; экоцентризм; ген; аллель; научная интерпретация.

Как цитировать:
Даев Е.В. Изменчивость цветка у лютика едкого (*Ranunculus acris*) как индикатор антропогенного загрязнения среды: научные аспекты эколого-генетического образования школьников // Экологическая генетика. 2023. Т. 21. № 1. С. 75–84. DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559

Рукопись получена: 07.02.2023 **Рукопись одобрена:** 17.03.2023 **Опубликована:** 31.03.2023

ЭКО • ВЕКТОР
Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International
© Эко-Вектор, 2023

DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559
Research Article

Terry buttercup wild flowers (*Ranunculus acris*) variability in school ecology education: ecocentrism formation

Eugene V. Daev
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;
Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Variability of terry flowers in buttercup *Ranunculus acris* from different populations demonstrates the anthropogenic impact on the environment. Schoolchildren carried out training works analyzing the frequency of occurrence of the trait "double" of a buttercup flower in the populations of the North-West Region of Russia. The data obtained made it possible to discuss questions about the mechanisms of action of environmental pollution by surfactants and unsaturated hydrocarbons. The article emphasizes the importance: of the direct joint participation of schoolchildren and university professional teachers in environmental research; of the visibility, evidence and significance of their results; of competent comprehensive discussion for the formation of a bio- and ecocentric worldview. The latter is especially important for the tuition of qualified scientific staff in the field of ecological genetics.

Keywords: terry flower; buttercup; variability; environmental pollution; ecology; school education; ecocentrism; gene; allele; scientific interpretation.

To cite this article:
Daev EV. Terry buttercup wild flowers (*Ranunculus acris*) variability in school ecology education: ecocentrism formation. *Ecological genetics*. 2023;21(1):75–84. DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559

Received: 07.02.2023 **Accepted:** 17.03.2023 **Published:** 31.03.2023

ECO•VECTOR
The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 license
© Eco-Vector, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Повышение уровня «экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания, <...> формирование у всех слоев населения, и прежде всего у молодежи, экологически ответственного мировоззрения» декларируется в правительственных документах Российской Федерации как одна из основных задач государственной политики [1]. Об этом же говорится в ст. 71 и 74 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [2].

В ряде публикаций, посвященных проблемам биологического образования в школе, среди учащихся отмечен низкий уровень владения базовыми логическими операциями: анализом, сравнением, обобщением [1]. Несформированностью представлений об этих логических приемах изучения окружающего мира определяется слабое умение применять их в учебно-познавательной практике [2]. Между тем именно естественно-научная грамотность является неотъемлемой характеристикой современного школьного образования в большинстве стран мира. В биологии следует более активно переходить от антропоцентрического к экоцентрическому мировоззрению как более высокому уровню экологической культуры [3, 4]. Это основа подготовки высококвалифицированных кадров в области экологической генетики и целого ряда других наук.

Необходимость экологического воспитания — приоритетная задача общего образовательного процесса [5]. Для этого необходимо еще в школе и даже раньше развивать у детей исследовательские навыки, такие как: наблюдение; выбор, описание, сравнение и учет наблюдаемого признака; анализ как уже известных данных, так и полученных непосредственно обучающимся, и т. д. [6]. Именно там закладываются основы биоцентрического и экоцентрического мировоззрения, формируются мотивации, которые позднее приводят учащихся в эколого-биологические подразделения высших учебных заведений, которые должны быть заинтересованы в притоке будущих профессионалов. Преподаватели биологических факультетов вузов могут и должны помогать средней школе в распространении непредвзятых эколого-биологических взглядов на место человека в окружающем его мире.

Экологическое образование «неосознанно» начинается еще в самом раннем детстве с выработки у ребенка привычек: мыть руки перед едой, стараться не сорить, убирать за собой грязь, любить животных, напрасно не ломать ветки и др.

Школа придает направленность «экологическим» воззрениям на окружающий мир, старается всесторонне их развивать и научно обосновывать. Этому существенно помогает организация летних экологических лагерей, отдых в которых эффективно сочетается с развитием наблюдательности, объяснениями различных природных явлений специалистами (желательно, профессионалами, преподавателями вузов), дискуссиями по различным проблемам. Появляется возможность обсуждения взаимосвязанности, зависимости различных, казалось бы, далеких друг от друга фактов.

Школьники, заинтересованные влиянием человека на окружающую среду, особенно проблемами антропогенных загрязнений, могут не только легко сами заметить признаки такого «негативного» воздействия в различных местах, но и подтвердить наличие антропогенного влияния с помощью достаточно простых методов в полевых условиях, имея при себе простой карандаш и блокнот для записей. Опытному преподавателю достаточно только слегка акцентировать внимание участников на конкретном признаке, а затем только сопровождать соответствующими пояснениями.

Одним из легко анализируемых признаков, меняющихся под действием различных средовых факторов является махровость цветка у некоторых видов растений. Обращая внимание учащихся на частоту встречаемости махровых цветков, можно достаточно просто продемонстрировать антропогенное воздействие на такой генетически детерминированный сложный и многоступенчатый процесс, как образование цветка. Для формирования у них научного подхода на основе наблюдаемого явления следует выдвинуть несколько научных гипотез и всесторонне обсудить наиболее вероятные. Дискуссионные вопросы могут касаться как механизмов возникновения самого признака, так и природы биологически активных антропогенных факторов, их регуляторного, а иногда и мутагенного влияния на живые организмы с возможными последствиями для экосистем.

Задачами данного исследования являлись: демонстрация использования признака махровости цветков лютика едкого (*Ranunculus acris*) для экспресс-оценки влияния антропогенных факторов загрязнения окружающей среды; развитие у школьников экоцентрического мировоззрения.

МАТЕРИАЛ

Лютик едкий как индикатор антропогенного влияния на окружающую среду

Лютик едкий (*Ranunculus acris*) — вид растений семейства Лютиковых (*Ranunculaceae*), широко распространенный в умеренном климатическом поясе России. Его популяции достаточно многочисленны, что облегчает сбор данных для корректного первичного анализа. Строение цветка лютика едкого можно выразить формулой — $*K_5C_5A_\infty G_\infty$. Стоит обратить внимание, что стебель одного растения ветвится. Таким образом на одном растении

[1] «Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года», утверждены Президентом Российской Федерации 30 апреля 2012 г. Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/902369004.

[2] «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2022). Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022). Режим доступа: https://fzakon.ru/laws/federalnyy-zakon-ot-10.01.2002-n-7-fz/.

DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559

Рис. 1. Общий вид ветвления растений (слева), нормальные (середина) и махровый (справа) цветы лютика едкого
Fig. 1. General view of buttercup plant branching (left) and its flowers: regular (middle) and double (right)

Рис. 2. Схема расположения анализируемых популяций лютика едкого на территории детского экологического лагеря в Кенозерском национальном парке (Масельга, Архангельская обл.). Районы анализируемых популяций затемнены
Fig. 2. Scheme of the sampling sites of the buttercup in the territory of the children's eco-camp in the Kenozero National Park (Maselga, Arkhangelsk Region). Areas of analyzed populations are shaded

может сформироваться сразу много цветков преимущественно одного генотипа. При этом среди в основном пятилепестковых цветов иногда встречаются махровые (6 лепестков и более, рис. 1). Могут встретится растения с несколькими цветками одинаковой или разной степени махровости, случайно распределенных по растению или только на одной веточке, а также с только махровыми цветками одинаковой или разной степени махровости. В каждом случае механизмы возникновения махровости могут быть различными.

В данной работе для простоты мы будем обозначать растение лютика с хотя бы одним шести-, семи- или более лепестковым цветком как М-растение.

Процесс развития любого цветка можно разбить на этапы, каждый из которых контролируется множеством факторов окружающей среды во взаимодействии с генами. Мутации в каком-либо из этих генов могут приводит к определенным нарушениям, в результате чего и нарушается формирование цветка [7, 8], в отдельных случаях проявляющееся как махровость. Такие же изменения (отклонения, аномалии) могут возникать и без мутационных изменений: достаточно нарушить работу взаимодействующих друг с другом механизмов, которые в норме обеспечивают процесс формирования цветка. Это может быть вмешательство (не мутационное, а регуляторное) в работу собственно генетического аппарата или его продуктов (рибосом и производимых ими белков) в тех клетках, из которых в будущем будет сформирован цветок.

По аналогии с изменчивостью цветка у седмичника европейского (*Trientalis europaea* L.) [8] махровость цветка у лютика позволяет рассматривать возможные генетические, онтогенетические, модификационные, флуктуационные механизмы изменчивости при действии средовых факторов на различные процессы формирования цветочной меристемы.

Выбор мест «сбора» материала

Учебная задача оценки антропогенного влияния с помощью анализа такого признака, как «махровость» у лютика едкого проводится довольно легко. Выбрав интересующие исследователей популяции *R. acris*, предлагают учесть частоту встречаемости растений с хотя бы одним махровым (число лепестков больше 5) цветком. Следует выбирать для анализа контрастные популяции в соответствии с предполагаемыми различиями по степени загрязнения окружающей среды. Растения нужно оценивать индивидуально: каждое следующее на расстоянии как минимум двух шагов от уже проанализированного. Оценку проводят визуально, не повреждая объект.

В разные годы школьникам, проводящим летний период в экологических лагерях, или участникам экологических экспедиций предлагали провести одно и то же исследование: обратив их внимание на махровость цветков лютика, оценить с помощью этого признака антропогенное влияние на окружающую среду. Примером является исследование, проведенное в детском экологическом лагере у деревни Масельга Каргопольского района Архангельской области. Были выбраны популяции из предположительно чистых и загрязненных мест, где были собраны первичные данные для дальнейшего анализа. Загрязненные участки находились в непосредственной близости от дорог с оживленным транспортным движением, или вокруг мест с активно используемыми моющими средствами (рис. 2). Подобная деятельность человека — существенный фактор загрязнения окружающей среды [9, 10].

Краткая характеристика анализируемых популяций (рис. 2)

Популяция «1» — луг, отделенный от ближайшей (≥100 м) сельской дороги гребнем холма и кустарником. Дорога относительно мало используемая, так как находится на территории Кенозерского национального парка, рядом с детским экологическим лагерем, куда въезд транспорта ограничен (используется только местными жителями, 2–3 дома). На территорию детского эколагеря проезжают только служебные машины не далее штаба и к столовой (обычно, не чаще 2–3 раз в день).

Популяция «2» выбрана на территории там же, но в непосредственной близости от зданий (бани, столовая, штаб), где почва загрязнена в основном различными моющими средствами, в состав которых входят концентрированные поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Популяция «3» расположена вдоль дороги на въезде в экопарк. Только небольшая часть популяции заходит на территорию парка, КПП и автостоянка уже вне его границ. Предполагается, что эта локация более сильно загрязнена автотранспортными отходами, вероятнее всего продуктами неполного сгорания топлива, то есть ненасыщенными углеводородами (НУВ) и другими продуктами, выбрасываемыми в окружающую среду в процессе эксплуатации автомобилей.

СОБРАННЫЕ ДАННЫЕ И ИХ АНАЛИЗ

У проводящих исследование учащихся (для удобства работали парами) образовался «массив» данных из всего двух чисел для каждой просмотренной популяции (число нормальных растений и М-растений, объем выборки — не менее 100 растений). Следует отметить, что в каждом из проанализированных примеров объем выборки был практически равен размеру изучаемой популяции.

Проанализирована махровость цветка лютика едкого в трех популяциях, выбранных в районе детского экологического лагеря у д. Масельга Каргопольского р-на Архангельской обл. Оценка встречаемости М-растений в каждой популяции показала, что их частота относительно низкая в предположительно чистой популяции («1») по сравнению с двумя другими, где этот показатель более чем в три раза выше («2» и «3», табл. 1).

Для формирования у школьников научного подхода к анализу результатов рассмотрели разные ситуации, которые могут возникать при сборе материала и его первичной оценке (например, по частотам). Полученные цифры могут, на первый взгляд: а) отличаться друг от друга; б) отличаться, но не слишком сильно или в) быть почти одинаковыми. И нужно уметь проверить: действительно есть различия или это случайность? А если их нет, это случайно или нет? В любом случае далее возникла необходимость хотя бы краткого обсуждения понятий вероятности, случайности, закономерности, достоверности или недостоверности видимых на глаз различий.

В каждом случае это можно выстроить достаточно интригующе. Как один из выходов, можно предложить обдумать, как отличить случайные различия (отклонения) от не случайных. Любой человек в процессе сравнения всегда выбирает какой-то один показатель, относительно которого оценивает остальные, говоря больше или меньше они этого показателя. Если же различия не сильные, он употребляет выражения «вроде бы» («кажется», «почти не заметные», «не слишком» и т. п.). При этом одному человеку может казаться, что различий нет, а другому — что есть, но слабые, и т. д.

Научный подход требует гораздо более точной, определенной оценки. При проведении биологических исследований договорились считать, что утверждать что-то определенное можно, если вероятность ошибки этого

Таблица 1. Частота встречаемости растений лютика едкого (*R. acris*) с хотя бы одним махровым цветком в популяциях на границе Кенозерского национального парка в районе д. Масельга

Table 1. Frequency of buttercup plants (*R. acris*) with at least one double flower in border populations Kenozero National Park near the village of Maselga

Популяция	Проанализировано растений			Частота «махровых» растений, %	*p**
	нормальных	М-растений	всего		
2009 г.					
«1»	225	8	233	3,43	
«2»	122	16	138	11,59**	0,0036
«3»	116	21	137	15,33**	0,00004
2015 г.					
«1»	177	6	183	3,28	
«2»	88	14	102	13,73**	0,0014
«3»	103	32	134	25,37**	$7 \cdot 10^{-8}$

*Уточненные значения были определены позднее с использованием GraphPad Prism 8.0.1 (точный критерий Фишера); **достоверные отличия от «контрольной» популяции «1».

DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559

утверждения (p) меньше 5 % ($p < 0,05$). Для целого ряда исследований (особенно в медицине) даже эта вероятность слишком велика, но остается вполне пригодной при проведении прикидок в полевых условиях. Для установления существования достоверных различий или их отсутствия нужно научится оценивать их силу (величину, степень).

Метод, который использовали для сравнения собранного материала, широко используемый в научных исследованиях критерий χ^2 [11]. Мы остановились на его самом простом варианте. Популяция «1» (табл. 1) из предположительно чистого места была выбрана как «контрольная» (эталонная), относительно которой и сравнивали данные, полученные для двух других популяций («2» и «3»). Приняв частоту встречаемости «махровых» растений (3,43 %) для популяции «1» (табл. 1, 2009 г.) за «эталон» (или «контроль»), были вычислены теоретические числа для популяции «2» с объемом выборки N_2 (138 растений), предполагая, что в этой популяции частота «махровости» должна быть такая же, как в популяции «1». Эти теоретические данные сравнили с реальными.

Расчет показал, что в выборке из 138 растений популяции «2» 2009 г. теоретически встретилось бы (если бы частота «махровости» составляла 3,43 %, как в «контроле») 133 нормальных и 5 М-растений (теоретические числа 133,27 и 4,73 округляем до целых). Отклонение реальных величин (122 и 16) от соответствующих теоретических (133 и 5) составило соответственно «–11» и «+11». Именно настолько меньше в реальной выборке «2» нормальных и настолько же больше М-растений. Суммарный критерий χ^2 равнялся $(-11)^2/133 + (11)^2/5 \approx (0,9 + 24,2) \approx$ **25,1**. Это число (индекс, коэффициент, критерий) характеризует «силу» (величину, достоверность) отклонений реальных величин от контрольных (теоретических). Более точные и сложные методы оценки различий между популяциями в «полевых» условиях на данном этапе были не нужны. Школьникам объяснили, что для подобных случаев давно созданы специальные таблицы, по которым по величине значения χ^2 можно установить случайны ли отличия между популяциями «1» и «2», а также какова вероятность ошибки сделанного вывода. Чтобы возможность ошибки вывода о неслучайности выявленных различий была меньше 5 % ($p < 0,05$), значение критерия χ^2 должно превысить величину 3,84. Для еще более достоверных выводов (когда вероятность ошибки меньше 1 % или 0,1 %) величина критерия χ^2 должна превысить соответственно 6,63 или 10,8 [11].

Вычисленное в данном пример значение критерия χ^2 намного больше табличного 6,63 и даже больше 10,8, что говорит о **неслучайности** выявленных отличий от данных популяции «1», выбранной нами в качестве «контрольной». Причем вероятность ошибки такого утверждения меньше 0,001 (см. табл. V распределения χ^2) [11].

Аналогичные расчеты для популяции «3» (табл. 1, 2009 г.) показали, что в выборке из 137 растений (при частоте махровости 3,43 %) теоретически должно быть 132 нормальных и 5 махровых растений (округляем до целых теоретические величины 132,30 и 4,70 соответственно). Отклонение реальных величин от теоретических составляет соответственно –16 и +16. Критерий χ^2 будет равен сумме двух слагаемых $(-16)^2/132 + (16)^2/5 \approx (1,9 + 51,2) \approx 53,1$. Таким образом, выявлено отличие популяции «3» от «контроля», так как вероятность ошибки (то есть предположения о случайности выявленных различий) $p < 0,001$. Более сложные статистические подробности (например, про число степеней свободы) и подходы к анализу (например, использование таблиц сопряженности χ^2, точного критерия Фишера, других методов) в полевых условиях не рассматривали, хотя и кратко упомянули.

Похожие результаты были получены школьниками для тех же популяций спустя шесть лет (табл. 1, 2015 г.). Различия были, на первый взгляд, даже сильнее выражены по сравнению с ранее полученными. Желающие могут сравнить данные разных лет статистически и обосновать (или опровергнуть) выдвинутое предположение.

Сходное сравнение было проведено школьниками Нюксенской СОШ Вологодской области в 2017 г. в районе пересечения притока р. Сухоны Правая Сученьга с Сухонским трактом (табл. 2).

Популяция «1» (контрольная) была выбрана на лугу, отделенном лесом, примерно в 200 м от шоссе (Сухонского тракта), вдоль которого была собрана выборка из популяции «2» (расположена вдоль обочины тракта), предполагающая влияние на нее высокого уровня автотранспортных загрязнений типа НУВ.

Таблица 2. Частота встречаемости М-растений лютика едкого (*R. acris*) в популяциях вблизи пересечения р. Правой Сученьги с Сухонским трактом (Вологодская обл.)

Table 2. The frequency of M-plants of buttercup (*R. acris*) in populations near the intersection of the river Pravaya Suchenga with the Sukhonsky tract (Vologda Region)

Популяция	Проанализировано растений			Частота махровых растений (%)	p*
	нормальных	М-растений	всего		
2017 г.					
«1»	386	19	405	4,69	$1,2 \cdot 10^{-7}$
«2»	446	84	550	15,27**	

*Уточненные значения были определены позднее с использованием GraphPad Prism 8.0.1 (точный критерий Фишера); **достоверные отличия от «контрольной» популяции «1».

DOI: https://doi.org/10.17816/ecogen197559

Полученные в исследовании результаты наглядно и убедительно продемонстрировали влияние антропогенных загрязнений на биологически важные процессы формирования цветка в популяциях лютика едкого.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение данных, полученных в Кенозерье в 2009 г. по признаку «махровости» между популяциями «1» и «2», показало, что частота встречаемости махровых форм в предположительно «загрязненном» месте более чем в 3 раза превышает таковую в относительно чистом (не загрязненном) месте. Превышение (более чем в 4 раза) было показано для выборки из популяции «3». Проведенный там же через 6 лет анализ показал практически идентичные результаты (табл. 1). Причем вероятность ошибки, то есть случайности выявленных различий между «контрольной» («1») и «грязными» популяциями («2» и «3») в разные годы, составила не более 0,004, а чаще даже ниже 0,001. Подобные результаты могут иметь научно-практический интерес, так как свидетельствуют о поддержании экосистемой аллостаза на фоне действия неблагоприятных антропогенных факторов.

Дальнейший сравнительный анализ, различия (их отсутствие) между популяциями «2» и «3», сходство и различия данных, полученных в разные годы и в разных местах, значение объема анализируемых выборок, обсуждение многих других вопросов способствовали формированию научного мировоззрения школьников, которые подошли к пониманию необходимости дополнительного комплексного изучения в первую очередь природы загрязнений территории (предположительно ПАВ и НУВ [9, 10, 12, 13]) химического состава почв, воздуха, а также отдаленных экологических последствий для территорий с высокой антропогенной нагрузкой.

Обращает на себя внимание сходство изменения частоты встречаемости махровых форм лютика в анализируемых выборках Вологодской и Архангельской областей в связи с предполагаемыми автотранспортными загрязнениями. Подобные результаты (табл. 1 и 2) можно обсуждать в связи с различными механизмами действия ПАВ, НУВ и других загрязнителей водной и воздушной окружающей среды [12–16].

Обсуждение результатов можно вести в разных направлениях. С одной стороны, можно обсудить, например, являются ли образцы «1» и «2» в д. Масельге (Кенозерье) популяциями, с другой — они могут представлять субпопуляции одной популяции (что, скорее всего, более правильно). Тогда можно обсуждать влияние человека на гетерогенность только одной популяции с вытекающими отсюда различными микроэволюционными последствиями.

Распределение махровых цветков лютика едкого в пределах каждого растения может дать дополнительную информацию о природе и механизмах действующих

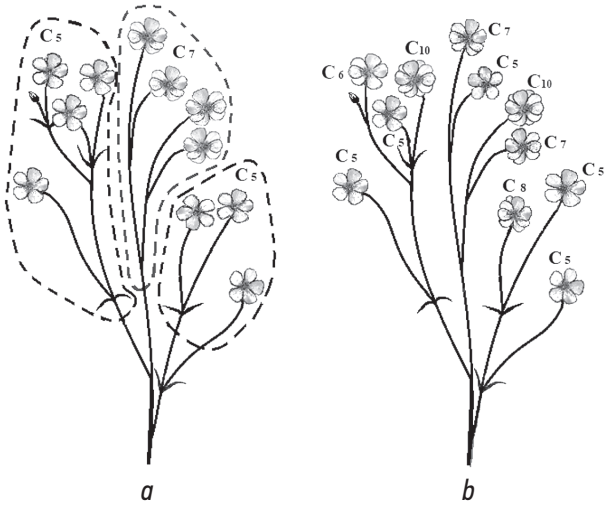

Рис. 3. Некоторые варианты распределения махровых цветков на стебле растения лютика едкого: *a* — расположение на ветках; *b* — степень махровости. C_n — количество лепестков
Fig. 3. Distribution examples of double flowers (C_n — the number of petals) on the stem of a buttercup plant: *a* — location on the branches; *b* — degree of terry

факторов (рис. 3). Важно отметить все ли цветки растения махровые или только некоторые, находятся ли такие цветки на одной ветке (рис. 3, *a*) или на разных, степень махровости их одинаковая или разная (рис. 3, *b*).

Растения, у которых все цветки махровые, с бóльшей вероятностью могут появляться вследствие наследуемых генетических изменений, индуцированных мутагенами, особенно если степень махровости одинакова (например, все имеют по 11 лепестков). Проверить, появились ли такие растения вследствие возникновения мутантной аллели какого-либо гена, можно только проведя дальнейший генетический анализ потомства различными методами. Как альтернативу можно предположить наличие в почве какого-то очень специфического биологически активного фактора, нарушающего, например, процесс формирования цветочной меристемы растения.

К сожалению, некоторые методические указания для вузов, описывающие махровость у лютика, детально не разбирают вопрос об учете вариабельности и распределения махровых цветков в пределах одного растения. Из раза в раз скопирована одна и та же таблица и сопровождающий ее текст. При этом множатся те же неточности (и даже ошибки), недопустимо распространяемые среди преподавателей школ и учащихся вузов. Так, в колонках приводимой как образец таблицы [17, 18] рассматривают только два типа растений: со всеми нормальными цветками или со всеми махровыми (в реальности все выглядит далеко не так однозначно). Из названий в таблице [17, 18] видно, что наличие в выборке этих двух типов однозначно трактуется авторами, как наличие генов «*A*» и «*a*» (там же в таблице), причем «*aa*» — генотип махрового растения. Авторы сразу постулируют «мутантную» природу признака и предлагают оценить частоты соответствующих аллелей,

которые ошибочно названы генами, забывая при этом, что это лишь одно из возможных предположений. Как правильно отмечал П.Я. Шварцман, это только «...“кандидаты” на мутационные формы», и не более, требующие пересадки «...их на генетический участок» для дальнейшего анализа [19]. Тем не менее в методичках однозначно сформулирован вопрос: определить частоты «...гена *А* и его аллеля *а*», а также генетической структуры популяции и ее соответствия закону Гарди – Вайнберга [17, 18, 20].

Таким образом, содержание реальной практической задачи сводят к одной модельной ситуации (для анализа которой достаточно аудиторных занятий), однобоко интерпретируя получаемые данные. При этом налицо непонимание разницы в понятиях «ген» и «аллель гена», а также явная преждевременность оценки генетической структуры популяций лютика едкого. Такая путаница понятий недопустима особенно в методической литературе для школ и тем более для вузов.

Последнее возникает из крайне неудачного (исторически сложившегося) использования одного и того же обозначения («*А*») для двух разных понятий: гена и его доминантной аллели. Подобное использование обозначений («*А*» — ген), например, ведет к противоречию: у растений с генотипом «*аа*» (махровых) нет гена «*А*» (то есть гена «махровости»).

ГЕН следует понимать, как **обобщенное понятие, включающее в себя все множество конкретных вариантов этого гена — АЛЛЕЛЕЙ.** В тоже время **аллель — это конкретная форма** (один из вариантов) **гена!**

Новая мутация в каком-либо гене фактически является новой аллелью этого гена. Когда мы копируем (иногда с ошибками) какой-нибудь документ, то получаем несколько копий одного документа, а не несколько документов. Именно исходя из вышеприведенной аналогии **совершенно недопустимо называть варианты** (точные или не очень точные копии) **одного и того же гена** (документа) **«аллельными генами». Аллельных генов нет!!! Это аллели** (варианты), **одного и того же гена.**

Точно так же **не следует использовать выражение «неаллельные гены» по отношению к генам: если гены, значит их как минимум два,** и этим уже все сказано. Даже в случаях присутствия в организме нескольких копий одного и того же гена, вряд ли по отношению к ним было бы правильно употреблять словосочетание «неаллельные гены». В то же время допустимо использовать слово «аллель» как в женском, так и в мужском роде, это никак не изменяет содержание термина.

Использование в учебной и научной литературе и в многочисленных источниках из интернета (типа foxford.ru, obrazovaka.ru, studfile.net и многих других) терминов «аллельные гены» и «неаллельные гены» затрудняет преподавание генетики учителями, как и правильное понимание учащимися базовых генетических закономерностей.

В рассматриваемых нами примерах методических материалов [17, 18, 20] «*А*» и «*а*» — доминантная и рецессивная **аллели одного гена**. Остается непонятным, откуда (без проверки классическими или современными молекулярно-генетическими методами генетического анализа) у авторов возникла уверенность в том, что это мутационная, а не модификационная изменчивость. Мутация — только одно из предположений и не более. Опять же, одни полностью махровые растения могут иметь у всех цветков одинаковое (по 7, 8 или, например, по 12 лепестков) или же варьирующее число лепестков. Почему-то возможность множественного аллелизма или модификаций даже не обсуждают.

Таким образом, анализ признака махровости цветков лютика, следует проводить более детально, а результаты приводимой здесь исследовательской учебной работы могут и должны обсуждаться намного шире, чем предлагают разнообразные методические указания. Объект, аналогично седмичнику европейскому, позволяет более глубоко изучать наследственные, модификационные, онтогенетические и стохастические механизмы изменчивости признака на разных уровнях: отдельного цветка, отдельного растения и популяции [8]. Независимо от механизмов, действие многих антропогенных факторов окружающей среды нарушает работу генов и их продуктов, участвующих в формировании цветка как у лютика едкого, так и у других цветковых растений. Все это в дальнейшем может отразиться на состоянии экосистемы в целом.

Полученные в приведенном исследовании результаты, их всестороннее обсуждение на молодежных экологических конференциях, школах и других мероприятиях, способствуют развитию у участников экоцентрического мировоззрения. Наглядность и достоверность полученных данных усиливает желание учащихся совершенствовать полученные ими навыки в области экологического образования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Польза привлечения учащихся к активному отдыху, включающему компоненты профессионального экологического образования, не вызывает сомнений, особенно если их внимание акцентируют на развитии наблюдательности и осмысления виденного, сочетая это с элементами научного аналитического подхода. Простейшие наблюдения за изменчивостью признака «махровости» в популяциях лютика едкого и несложный статистический анализ позволяют наглядно демонстрировать влияние человеческой деятельности на формообразование цветка, что, вероятнее всего, обусловлено регуляторными и/или мутационными нарушениями работы генетического аппарата клеток всего растения или его цветочной меристемы.

Приведенный пример можно рассматривать как один из содержательных элементов реализации программы

эколого-биологического образования, которое должно занимать ключевую роль в современном мире [21], в частности при подготовке профессиональных кадров в области экологической генетики. Непосредственное участие в проведении научных исследований, доказательная демонстрация антропогенного вмешательства (как минимум в регуляцию генетически детерминированных процессов) и всестороннее обсуждение полученных результатов в среде сверстников способствуют формированию экологического мировоззрения и одновременно мониторингу состояния окружающей среды с выявлением потенциальных зон риска.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность администрации Кенозерского национального парка Архангельской области и А.В. Пудовой, преподавателю Нюксенской СОШ (Вологодская обл.), за содействие в проведении исследований; О. Басовой, А. Зеновской и другим ученикам (на момент проведения исследований) школ Архангельской и Вологодской обл., а также Москвы, принимавшим участие в сборе и анализе материала, за их интерес к эколого-генетическим исследованиям; сотруднице кафедры генетики и биотехнологии СПбГУ И.С. Бузовкиной за помощь в подготовке рукописи к публикации.

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgements. The author expresses his deep gratitude to the Administration of the Kenozersky National Park of the Arkhangelsk Region and A.V. Pudova, teacher of the Nyuksenskaya secondary school (Vologda Region), for assistance in conducting research; and to O. Basova, A. Zenovskaya, and other pupils (at the time of the research) of schools in the Arkhangelsk and Vologda Regions, as well as in Moscow, who took part in the collection and analysis of the material, for their interest in ecological genetic research; and to an employee of the Department of Genetics and Biotechnology of St. Petersburg State University I.S. Buzovkina for help in preparing the manuscript for publication.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The author declares that he has no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Якунчев М.А., Киселева А.И. Модель формирования логических учебных действий у учащихся при изучении биологии в школе // Сибирский педагогический журнал. 2014. № 5. С. 13–18.

2. Асмолов А.Г., Бурменская Г.В., Володарская И.А., и др. Формирование универсальных учебных действий в основной школе: от действия к мысли. Система заданий: пособие для учителя. Москва: Просвещение, 2010. 159 с.

3. Суслова С.М. Развитие экологической культуры учащихся 9–11 классов в процессе интеграции урочной и внеурочной деятельности: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Мытищи, 2020. 23 с.

4. Петрищева Г.С., Захарюта Н.В. Воспитание нового мировоззрения обучающихся посредством непрерывного эколого-биологического образования // Биология в школе. 2022. № 2. С. 17–21.

5. Пентин А.Ю., Заграничная Н.А., Никишова Е.А., и др. Преподавание естественно-научных предметов в условиях обновления содержания общего образования: методическое пособие. Москва: ФГБНУ «Институт стратегии развития образования» РАО. 2021. 184 с.

6. Бережная О.В. Формирование исследовательской компетентности обучающихся на основе познавательных универсальных учебных действий при обучении биологии (6 класс): автореф. дис. ... канд. пед. наук. 2020. Москва, 2021. 27 с.

7. Мыльников С.В., Барабанова Л.В., Бондаренко Л.В., и др. Генетические экскурсии на Белом море. Санкт-Петербург: Изд-во Н-Л, 2006, 138 с.

8. Тиходеев О.Н. Флуктуационная изменчивость структуры цветка у *Trientalis Europaea* (*Primulaceae*) // Ботанический журнал. 2012. Т. 97, № 7. С. 901–917.

9. Curtis L., Rea W., Smith-Willis P., et al. Adverse health effects of outdoor air pollutants // Environment International. 2006. Vol. 32. P. 815–830. DOI: 10.1016/j.envint.2006.03.012

10. Arora J., Ranjan A., Chauhan A., et al. Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation // J Appl Microbiol. 2022. Vol. 133. P. 1229–1244. DOI: 10.1111/jam.15631

11. Глотов Н.В., Животовский Л.А., Хованов Н.В., Хромов-Борисов Н.Н. Биометрия : учебное пособие. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1982. 263 с.

12. Badmus S.O., Amusa H.K., Oyehan T.A., Saleh T.A. Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques // Environ Sci Pollut Res Int. 2021. Vol. 28. P. 62085–62104. DOI: 10.1007/s11356-021-16483-w

13. Hall D.E., Doel., Jørgensen R., et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive exhaust emissions and fuels // Brussels: Concawe, 1998. Rep. no. 98/55. P. 1–150.

14. Gheorghe S., Lucaciu I., Paun I., et al. Ecotoxicological Behavior of some Cationic and Amphoteric Surfactants (Biodegradation, Toxicity and Risk Assessment), Ch. 4. In: Biodegradation — Life of Science. Ed. by R. Chamy, F. Rosenkranz. Intech Open. 2013. DOI: 10.5772/56199

15. Никифоров А. Ф., Кутергин А.С., Семенищев В.С., Никифоров С.В. Экологические основы охраны водных ресурсов: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. 192 с.

16. Пепина Л.А., Созонтова А.Н. Загрязнение атмосферного воздуха автомобильно-дорожным комплексом // Alfabuild. 2017. Т. 1, № 1. С. 99–110.

17. Трошина А.И. Методическое пособие к проведению полевой практики по генетике. Тобольск: ТГПИ им. Д.И. Менделеева, 2004. 74 с.
18. Методические указания для обучающихся по прохождению производственной практики. Тип практики — Б2.В.08(П) Практики по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (генетика). Улан-Удэ: ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет», 2017. 37 с.
19. Шварцман П.Я. Полевая практика по генетике с основами селекции. Москва: Просвещение, 1986. 111 с.
20. Быстракова Н.В., Ермаков О.А., Титов С.В. Руководство к практическим занятиям по генетике: Учебно-методическое пособие. Пенза: Пенз. гос. пед. ун-т им. В.Г. Белинского, 2011. 69 с.
21. Захаров В.М. Концепция биологического образования // Биология в школе. 2022. № 6. С. 40.

REFERENCES

1. Yakunchev M.A., Kiseleva A.I. Model of formation of logical learning activities of students in the process of studying biology at school. *Siberian Pedagogical Journal*. 2014;(5):13–18.
2. Asmolov AG, Burmenskaya GV, Volodarskaya IA, et al. Formirovanie universalnykh uchebnykh deistvii v osnovnoi shkole: ot deistviya k mysli. Sistema zadanii: teacher's manual. Moscow: Prosveshchenie; 2010. 159 p.
3. Suslova SM. Razvitie ekologicheskoi kultury uchashchikhsya 9–11 klassov v protsesse integratsii urochnoi i vneurochnoi deyatelnosti [dissertation abstract]. Mytishchi; 2020. 23 p.
4. Petrishcheva GS, Zakharyuta NV. Education of a new worldview of students through continuous ecological and biological education. *Biologiya v Shkole*. 2022;(2):17–21.
5. Pentin AYu, Zagranichnaya NA, Nikishova EA, et al. Prepodavanie estestvenno-nauchnykh predmetov v usloviyakh obnovleniya soderzhaniya obshchego obrazovaniya: metodicheskoe posobie. Moscow: FGBNU "Institut strategii razvitiya obrazovaniya" RAO. 2021. 184 p.
6. Berezhnaya OV. Formirovanie issledovatelskoi kompetentnosti obuchayushchikhsya na osnove poznavatelnykh universalnykh uchebnykh deistvii pri obuchenii biologii (6 klass) [dissertation abstract]. 2020. Moscow; 2021. 27 p.
7. Myl'nikov SV, Barabanova LV, Bondarenko LV, et al. Geneticheskie ekskursii na Belom more. Saint Petersburg: Izd-vo N-L; 2006. 138 p.
8. Tikhodeyev ON. Fluctuational variation of the flower structure in *Trientalis Europaea L.* (*Primulaceae*). *Botanicheskii Zhurnal*. 2012;97(7):901–917.
9. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, et al. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International*. 2006;32:815–830. DOI: 10.1016/j.envint.2006.03.012
10. Arora J, Ranjan A, Chauhan A, et al. Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation. *J Appl Microbiol.* 2022;133:1229–1244. DOI: 10.1111/jam.15631
11. Glotov NV, Zhivotovskii LA, Khovanov NV, Khromov-Borisov NN. Biometriya. Leningrad: LGU; 1982. 263 p.
12. Badmus SO, Amusa HK, Oyehan TA, Saleh TA. Environmental risks and toxicity of surfactants: overview of analysis, assessment, and remediation techniques. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2021;28:62085–62104. DOI: 10.1007/s11356-021-16483-w
13. Hall DE, Doel, Jørgensen R, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in automotive exhaust emissions and fuels. Brussels: Concawe; 1998. Rep. no. 98/55. P. 1–150.
14. Gheorghe S, Lucaciu I, Paun I, et al. Ecotoxicological Behavior of some Cationic and Amphoteric Surfactants (Biodegradation, Toxicity and Risk Assessment), Ch. 4. In: *Biodegradation — Life of Science*. Ed. by R. Chamy, F. Rosenkranz. Intech Open; 2013. DOI: 10.5772/56199
15. Nikiforov AF, Kutergin AS, Semenishchev VS, Nikiforov SV. Ekologicheskie osnovy okhrany vodnykh resursov: uchebnoe posobie. Ekaterinburg: Ural. un-t, 2019. 192 p.
16. Pepina LA, Sozontova AN. Air Pollutant Emissions from roads vehicles. *Alfabuild*. 2017;1(1):99–110.
17. Troshina AI. Metodicheskoe posobie k provedeniyu polevoi praktiki po genetike. Tobolsk: TGPI im. D.I. Mendeleeva; 2004. 74 p.
18. Metodicheskie ukazaniya dlya obuchayushchikhsya po prokhozhdeniyu proizvodstvennoi praktiki. Tip praktiki — B2.V.08(P) Praktiki po polucheniyu professional'nykh umenii i opyta professional'noi deyatel'nosti (genetika). Ulan-Ude: FGBOU VO "Buryatskii gosudarstvennyi universitet"; 2017. 37 p.
19. Shvartsman PYa. Polevaya praktika po genetike s osnovami selektsii. Moscow: Prosveshchenie; 1986. 111 p.
20. Bystrakova NV, Ermakov OA, Titov SV. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po genetike: Uchebno-metodicheskoe posobie. Penza: Penz. gos. ped. un-t im. VG. Belinskogo; 2011. 69 p.
21. Zakharov MV. The concept of environmental education. *Biologiya v Shkole.* 2022;(6):40.

ОБ АВТОРЕ

Евгений Владиславович Даев, д-р биол. наук; адрес:
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2036-6790;
Scopus Author ID: 6701779129; eLibrary SPIN: 8926-6034;
e-mail: e.daev@spbu.ru

AUTHOR'S INFO

Eugene V. Daev, Dr. Sci. (Biol.); address:
7/9 Universitetskaya emb., Saint Petersburg, 199034, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2036-6790;
Scopus Author ID: 6701779129; eLibrary SPIN: 8926-6034;
e-mail: e.daev@spbu.ru