

УДК 633.63

UDC 633.63

4.1.2 Селекция, семеноводство и биотехнология.

4.1.2 Breeding, Seed Production, and Biotechnology.

ЯВЛЕНИЕ АЛЬБИКАЦИИ У РОДИТЕЛЬСКИХ ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ F₁ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

ALBICATION IN PARENTAL LINES AND F₁ HYBRIDS OF SUGAR BEET

Цаценко Людмила Владимировна
д-р. биол. наук, профессор, кафедра генетики,
селекции и семеноводства
SPIN-код: 2120-6510, AuthorID: 94468
<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>
lvt-lemna@yandex.ru

Tsatsenko Luidmila Vladimirovna
Dr.Sci.Biol., professor,
Genetics, Plant Breeding and seeds
RSCI SPIN-code: 2120-6510, AuthorID: 94468
<https://orcid.org/0000-0003-1022-1942>
lvt-lemna@yandex.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

“Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin”, Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

Дмитрова Елена Сергеевна
Аспирант
SPIN-код: 4288-6779
<https://orcid.org/0009-0004-3137-6745>
79197323800@mail.ru

Dmitrova Elena Sergeevna
Postgraduate student
RSCI SPIN-code: 4288-6779
<https://orcid.org/0009-0004-3137-6745>
79197323800@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Russia, Krasnodar 350044, Kalinina 13

В работе рассматриваются растения сахарной свеклы с альбикацией. Альбикация определяется как редкая наследственная генетическая аномалия сахарной свеклы, характеризующаяся появлением на листьях молочно-белых участков из-за полного отсутствия хлорофилла и других пигментов. В отдельных случаях обесцвечивание может охватывать всю листовую пластинку, а у растений второго года жизни – также стебли, прицветники и околоцветники. Явление передается потомству и визуально отличается от пожелтения, так как указывает на полную потерю хлорофилла. Единичные альбицированные растения спорадически встречаются во всех районах свеклосеяния, но из-за своей редкости не представляют экономического значения. Изучение таких аномалий актуально в эпоху генных технологий, так как морфологические изменения могут возникать у геномодифицированных растений как побочный эффект

The study examines sugar beet plants with albinism. Albinism is a rare hereditary genetic anomaly of sugar beet, characterized by the appearance of milky-white areas on leaves due to the complete absence of chlorophyll and other pigments. In severe cases, discoloration can cover the entire leaf blade, and in second-year plants — also stems, bracts, and perianths. The phenomenon is inherited and visually differs from yellowing as it indicates a complete loss of chlorophyll. Single albinized plants occur sporadically in all sugar-beet growing regions but do not have economic significance due to their rarity. The study of such anomalies is relevant in the era of gene technologies, as morphological changes may arise in genetically modified plants as a side effect

Ключевые слова: САХАРНАЯ СВЕКЛА, ТЕРАТНЫЕ ФОРМЫ, АЛЬБИНИЗМ У РАСТЕНИЙ, ХЛОРОФИЛЛ, АЛЬБИКАЦИЯ

Keywords: SUGAR BEET, TERATOUS FORMS, PLANT ALBINISM, CHLOROPHYLL, AND ALBICATION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-221-032>

Введение. Сахарная свекла (*Beta vulgaris* L.) относится к числу стратегически значимых технических культур. Уровень ее урожайности

<http://ej.kubagro.ru/2026/07/pdf/32.pdf>

напрямую зависит от продуктивности фотосинтетической системы и гармоничного протекания обменных процессов.

Явление альбинизма у растений проявляется как утрата типичной пигментации: это может быть изменение окраски цветков (появление белых лепестков вместо типичных), обесцвечивание листьев (хлороз) или полный альбинизм всего растения.

Часто альбикиацию рассматривали как частичный альбинизм или пигментную листовую химеру. Альбинизму у растений посвящено несколько работ. Согласно имеющимся научным публикациям причины возникновения альбинизма, кардинально различаются в зависимости от среды обитания растения (естественная, промышленная или сельскохозяйственная [1,2,3,4]. Характеристика и причины возникновения альбинизма можно отнести к нескольким блокам.

1. Естественная изменчивость в экстремальных природных условиях.

В исследованиях, проведенных в Низовьях реки Лены, Усть-Ленский заповедник (Якутия) у видов *Papaver pulvinatum*, *Astragalus norvegicus*, *Hedysarum arcticum*, *Eritrichium villosum*, *Pedicularis verticillata* и *Taraxacum macilentum* вместо типичной окраски появляются белоцветковые формы. Альбинизм проявляется как «уклонение к белому цвету» у дикорастущих двудольных растений [3,5]. Среди причин, вызывающих возникновение альбинизма рассматривают естественную цветовую дисперсию. В суровых условиях арктической тундры альбинизм выступает как форма естественной изменчивости популяций.

2. *Проявление архаичных форм:* Галиева Э.Р. и др. (2002) предполагают, что некоторые такие отклонения могут представлять собой древние (архаичные) формы, сохранившиеся в изолированных популяциях [1]. В данном случае альбинизм не считается патологией, а рассматривается как важный показатель декоративности и природный потенциал для селекции.

3. *Техногенное загрязнение* (Тяжелые металлы и промышленные выбросы). Детально феномен альбинизма был изучен Сафоновым А.И. (2024) на территории промышленных зон Донбасс (отвалы, металлургические и химические зоны). В этом случае альбинизм регистрируется как «нетипичный альбинизм цветка» или изменение окраски венчика (наряду с позеленением). Он затрагивает широкий спектр сорно-рудеральных и природных растений (например, *Amaranthus retroflexus*, *Capsella bursa-pastoris*, *Cichorium intybus*, *Echium vulgare*, *Melilotus albus*, *Reseda lutea*, *Verbascum lychnitis*). Причины возникновения такой аномалии развития токсическая нагрузка. В данном случае альбинизм является формой тератогенеза (уродства/аномалии развития генеративной сферы). В работе показано, что загрязнение среды тяжелыми металлами высокими концентрациями тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ni) в ризосафосфере (почве в зоне корней) тесно коррелирует с появлением тератных форм, в том числе и альбинизма. Токсиканты вызывают соматические физиолого-биохимические изменения на внутриклеточном уровне, что приводит к фенотипическим преобразованиям (утрате пигмента), что можно определить как нарушение морфогенеза [7].

4. *Воздействие агрохимикатов* (Сельскохозяйственный стресс). Проявление альбинизма наблюдали в посевах гибридов кукурузы. Отмечали частичный альбинизм (отдельных листьев или частей стебля) или альбинизм всего растения (растение полностью лишено хлорофилла и нежизнеспособно) [4]. Причины возникновения появления аномально-развитых растений фитотоксичность гербицидов. Альбинизм и хлороз возникают как защитная или патологическая реакция на применение противозлаковых гербицидов, нарушение сроков их внесения или превышение рекомендуемых доз. Помимо данного фактора можно рассматривать и комбинацию факторов, когда аномалия развивается на

стыке генетических особенностей конкретного гибрида, погодных условий и ошибок в агротехнике.

5. Фактор «полеостресса» (Военное воздействие и разрушение среды). В работе Сафонова А.И. (2024) в Донбассе (в зонах военного воздействия) у модельного растения *Verbascum lychnitis* (коровяк) наряду с техногенным фактором выделен вектор «полеостресса», при котором наблюдается позеленение или альбинизм отгиба венчика, а также деструкция семязачатков. Воздействие различных факторов (загрязнение специфическими веществами, механическая трансформация) бьет по женской генеративной сфере. Альбинизм в данном случае рассматривается как нео-адаптационный механизм (реакция на экстремальный стресс), который, однако, резко (до 85%) снижает качество семенного материала и угрожает семенному возобновлению популяций.

Таким образом в анализе данных можно заключить, что альбинизм выступает в двух направлениях: как норма и эволюционная изменчивость в дикой природе (Якутия), где белые цветки являются просто вариантом цветовой гаммы вида, в первом случае. Во втором – как патология и биоиндикатор (тератоморф) в условиях антропогенного, химического стресса, где утрата пигмента сигнализирует о тяжелом загрязнении среды тяжелыми металлами, пестицидами или о генотоксическом поражении репродуктивной системы растения.

Цель и задачи исследования В задачу нашего исследования входил анализ явления альбикации у растений сахарной свеклы. Для получения новой информации и получения новых знаний о данном явлении мы в течении трех лет с 2023 и по настоящее время собирали коллекцию растений с альбикацией. Для достижения поставленной цели нам потребовалось:

1. Провести сбор листьев с альбикацией у родительских форм и гибридов сахарной свеклы на пяти фонах минерального питания.

2. Разработать методику приготовления гербарных образцов с листьями с частичной окраской.

3. Разработать структуру базы образов растений с явлением альбикиции у сахарной свеклы.

Материалы и методы. В ходе научно-исследовательской работы, реализованной в 2023–2026 гг., исследования проводились в полевых опытах на базе ФГБНУ «Первомайская селекционно-опытная станция сахарной свеклы». Растения выращивались на пяти вариантах минерального питания:

Фон I (контрольный) – без внесения минеральных удобрений
Фон II – $N_{30}P_{30}K_{30}$
Фон III – $N_{60}P_{60}K_{60}$
Фон IV – $N_{90}P_{90}K_{90}$
Фон V – $N_{120}P_{120}K_{120}$

Объекты исследования: Гибриды F_1 : Первомайский, Крокус, Луч;
Материнские линии (МС): МС (11348×11301), МС (27038×12126), МС 12169;

Отцовские линии (Оп): Оп 6279, Оп Фа, Оп Мр [2].

Поскольку растения с альбикицией встречались редко, первоначально собранные образцы помещали в контейнер для аномально развитых форм растений [6], затем сушили с помощью смеси, поглощающей влагу и обрабатывали под прессом с температурой и таким образом гербарный образец упаковывали в пленку, что позволяло сохранить первоначальную окраску (рисунок 1).



а



б

Рисунок – Листья и соцветия растений сахарной свеклы с альбикиацией:

а – простая сушка, 2023 г.;

б – сушка с использованием технологии высушивания и обработки температурой, 2026 г.

В созданной базе образов впервые систематизирован и в полном объеме собран материал, охватывающий разнообразные проявления альбикиации у растений сахарной свеклы. Коллекция включает в себя фотографии, схематические рисунки и гербарные образцы. В материалах описаны как случаи полного, так и частичного альбинизма у растений. Собранная визуальная база данных дает возможность сформировать обширную коллекцию образов для дальнейшего изучения этого явления, а также для более глубокого понимания условий, провоцирующих развитие

аномалий, и их влияния на итоговую продуктивность растений (Тип ЭВМ: IBM PC и совместимые с ним ПК.

Система управления базой данных: с помощью простой перемотки в различных версиях программы PowerPoint.

Операционная система: Windows XP, Windows Vista, Windows 10 и выше.

Объем базы данных: 9,41 МБ.) [9].

Результаты исследований. Альбикация у сахарной свеклы – это генетическая аномалия, связанная с нарушением синтеза хлорофилла. При этом на листьях растения появляются молочно-белые участки, которые нередко охватывают всю листовую пластинку. В клетках пораженных тканей полностью отсутствуют хлорофилл и другие пигменты.

Альбикация появляется как белые участки на листьях. На листьях растения образуются молочно-белые пятна или участки, которые в некоторых случаях могут охватывать всю листовую пластинку (рисунок 2).

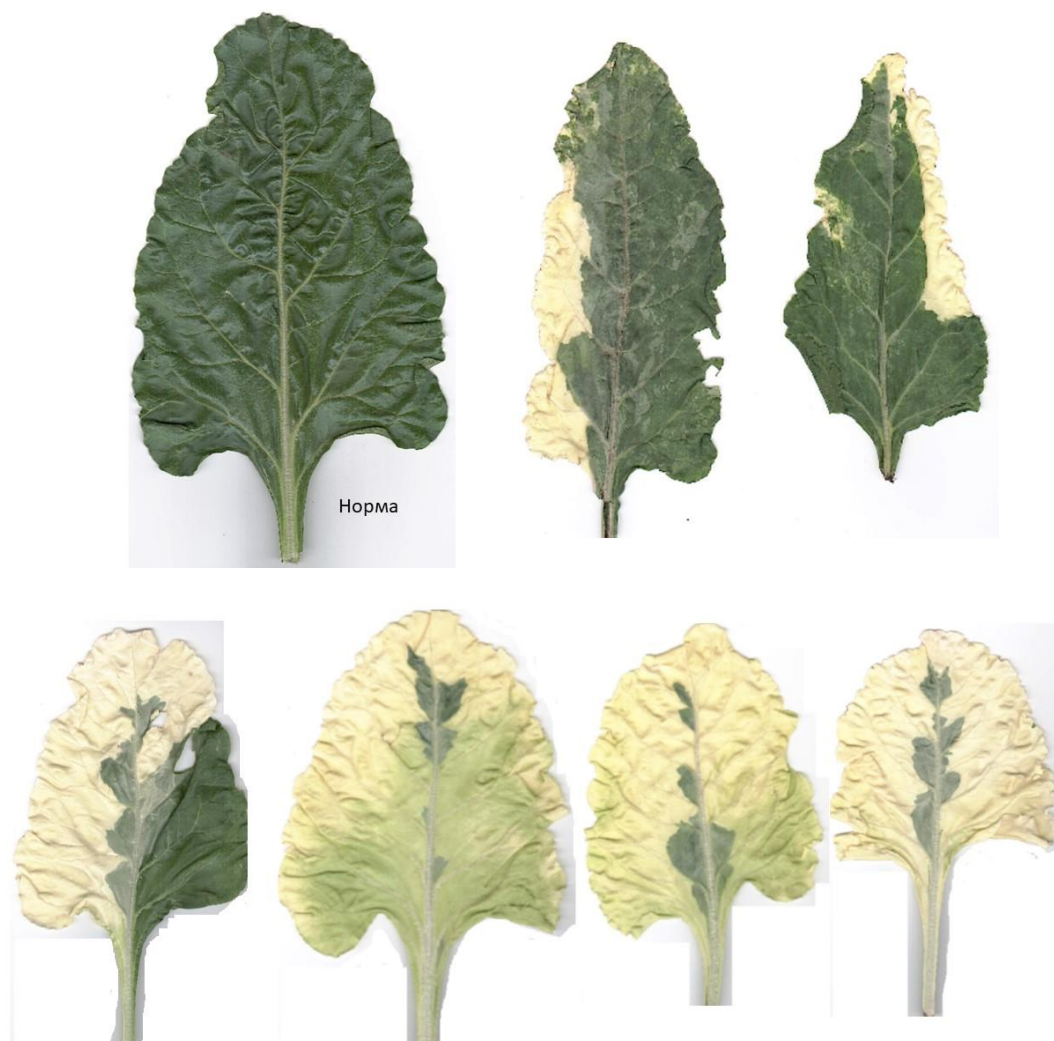


Рисунок 2 – Листья сахарной свеклы с различной степенью проявления альбикации.

Отсутствие пигментов: В клетках пораженных тканей полностью отсутствует хлорофилл, из-за чего они теряют зеленую окраску. Альбикация визуально отличается от обычного пожелтения листьев – участки имеют именно молочно-белый, а не желтый цвет, что указывает на полную потерю хлорофилла, а не на его уменьшение. Часто у растений пораженных альбикацией отмечают эффект «химеры». Иногда ее внешнее проявление выглядит так, будто на внутренние части листа натянута тонкая белая «кожица».

Страдают от поражения альбикацией растения как первого, так и второго года жизни. У растений сахарной свеклы второго года жизни

(которые выращиваются для получения семян) аномалия может проявляться не только на листьях, но и на стеблях, прицветниках и околоцветниках (рисунок 3).



а



б



в

Рисунок 3 – Растения с альбикиацией 1 года жизни, из-за отсутствия пигмента хлорофилла видно отмирание листьев; б – растения второго года жизни, частично поражено, в – поражено полностью соцветие и листья у растения 2-го года жизни.

В литературе альбикиацию рассматривают как генетическую аномалию. Эта мутация закрепляется в генах и может передаваться потомству. Однако в нашей работе нам пока не удалось установить зависимость между родительскими формами и гибридами. Возможно этот

вопрос требует дальнейшего изучения. Собрать семена с растений второго года жизни не удалось, т.к. из-за отсутствия хлорофила в стеблях и листьях, цветоносы не сформировали семян. Отмечаются единичные случаи распространения альбицированных растений во всех районах свеклосеяния [10].

Важным вопросом, на наш взгляд, является экономическое значение данного явления. На сегодняшний день это явление встречается крайне редко и носит единичный характер, альбикация не представляет экономической угрозы и не имеет хозяйственного значения для сельского хозяйства.

Рассмотрение явления альбикации было бы неполным, если не рассматривать перспектив будущих исследований в связи с развитием работ по редактированному геному и биологическому мутагенезу. Изучение таких аномалий (включая альбикацию, фасциацию, гигантизм) особенно актуально в эпоху развития генных технологий [11]. Морфологические изменения и аномалии развития могут возникать у биотехнологически-улучшенных растений как побочный эффект – из-за случайных вставок генетического материала, нарушения работы генов или изменения их экспрессии.

Вывод. Следовательно, альбикация представляет собой редкую генетическую аномалию, которая вызывает частичную или полную потерю окраски растительных тканей из-за нарушения синтеза фотосинтетических пигментов. Из-за крайней малочисленности подобных случаев в агрономической литературе практически отсутствуют сведения о точных причинах этой патологии. К потенциальным факторам ее возникновения можно отнести: наследственные особенности конкретного гибрида или сорта, сбои в формировании хлоропластов на ранних этапах онтогенеза и воздействие внешних условий на процесс образования хлорофилла. Углубленное исследование данного феномена представляется

целесообразным, так как его проявление обусловлено генетическими механизмами растений.

Список литературы

1. Галиева, Э. Р. Феномен андроклии и альбинизм у злаков / Э. Р. Галиева, Ф. М. Шакирова, Н. Н. Круглова // Успехи современной биологии. – 2002. – Т. 122, № 4. – С. 342-352.
2. Дмитрова, Е. С. Влияние различных агрофонов на родительские линии и гибриды F1 сахарной свеклы отечественной селекции / Е. С. Дмитрова, Л. В. Цаценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 201. – С. 340-350.
3. Исакова, С. В. Аномалии развития растений кукурузы / С. В. Исакова, С. Н. Щеглов, Л. В. Цаценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 195. – С. 218-227.
4. Николин Е.Г. Изменчивость окраски цветков растений в низовьях реки Лены / Е.Г. Николин, И.А. Якшина // Vavilovia.– 2022.–V.5(1). – С.23-32.
5. Острейко, С. А. Пигментные химеры как проявление популяционных процессов в онтогенезе садовых растений / С. А. Острейко // Вопросы технологии возделывания плодовых культур в Нечерноземной полосе / Академия сельскохозяйственных наук: отделение по Нечерноземной зоне РСФСР; Научно-исследовательский институт садоводства Нечерноземной полосы. – Москва : Научно-исследовательский зональный институт садоводства нечерноземной полосы, 1990. – С. 33-45.
6. Патент на полезную модель № 229880 U1 Российская Федерация, МПК B65D 85/50. Контейнер для аномально развитых форм растений : № 2024111447 : заявл. 24.04.2024 : опубл. 31.10.2024 / Л. В. Цаценко, Е. С. Дмитрова, В. В. Миназов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина".
7. Сафонов А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса / А.И. Сафонов // Разнообразие растительного мира. – 2019. – №. 1 (1). – С. 4-16.
8. Сафонов А.И. Тератогенез цветков и соцветий в индикации антропогенной нагрузки / А.И. Сафонов //Вестник Северо-Казахстанского университета имени Манаша Козыбаева.–2024.– №4 (64). – С. 66-72.
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023623582 Российская Федерация. Тератные формы у сахарной свеклы. Каталог образов : № 2023623363 : заявл. 16.10.2023 : опубл. 23.10.2023 / Л. В. Цаценко, Ю. В. Жабатинская, Е. С. Дмитрова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».
10. Цаценко, Л. В. Тератные формы растений: подходы и методы изучения / Л. В. Цаценко, А. В. Логвинов. – Краснодар : ООО "Просвещение-Юг", 2023. – 110 с. – ISBN 978-5-93491-946-8.

11. Цаценко, Л. В. Фасциация в природе и эксперименте / Л. В. Цаценко, Д. Л. Савиченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 123. – С. 1785-1799.

References

1. Galieva, Eh. R. Fenomen androklonii i al'binizm u zlakov / Eh. R. Galieva, F. M. Shakirova, N. N. Kruglova // Uspehi sovremennoj biologii. – 2002. – T. 122, № 4. – S. 342-352.
2. Dmitrova, E. S. Vliyanie razlichnyh agrofonov na roditel'skie linii i gibridy F1 saharnoj svekly otechestvennoj selekcii / E. S. Dmitrova, L. V. Cacenko // Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 201. – S. 340-350.
3. Isakova, S. V. Anomalii razvitiya rastenij kukuruzy / S. V. Isakova, S. N. Shcheglov, L. V. Cacenko // Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 195. – S. 218-227.
4. Nikolin E.G. Izmenchivost' okraski cvetkov rastenij v nizov'yah reki Leny / E.G. Nikolin, I.A. Yakshina // Vavilovia.– 2022.–V.5(1). – S.23-32.
5. Ostrejko, S. A. Pigmentnye himery kak proyavlenie populyacionnyh processov v ontogeneze sadovyh rastenij / S. A. Ostrejko // Voprosy tehnologii vzdelyvaniya plodovyh kul'tur v Nechernozemnoj polose / Akademiya sel'skohozyajstvennyh nauk: otdelenie po Nechernozemnoj zone RSFSR; Nauchno-issledovatel'skij institut sadovodstva Nechernozemnoj polosity. – Moskva : Nauchno-issledovatel'skij zonal'nyj institut sadovodstva nechernozemnoj polosity, 1990. – S. 33-45.
6. Patent na poleznuyu model' № 229880 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B65D 85/50. Kontejner dlya anomal'no razvityh form rastenij : № 2024111447 : zayavl. 24.04.2024 : opubl. 31.10.2024 / L. V. Cacenko, E. S. Dmitrova, V. V. Minazov ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina".
7. Safonov A. I. Teratogenez rastenij-indikatorov promyshlennogo Donbassa / A.I. Safonov // Raznoobrazie rastitel'nogo mira. – 2019. – №. 1 (1). – S. 4-16.
8. Safonov A.I. Teratogenez cvetkov i socvetij v indikacii antropogennoj nagruzki / A.I. Safonov //Vestnik Severo-Kazahstanskogo universiteta imeni Manasha Kozybaeva.–2024.– №4 (64). – S. 66-72.
9. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2023623582 Rossijskaya Federaciya. Teratnye formy u saharnoj svekly. Katalog obrazov : № 2023623363 : zayavl. 16.10.2023 : opubl. 23.10.2023 / L. V. Cacenko, Yu. V. Zhabatinskaya, E. S. Dmitrova ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina».
10. Cacenko, L. V. Teratnye formy rastenij: podhody i metody izucheniya / L. V. Cacenko, A. V. Logvinov. – Krasnodar : ООО "Prosveshchenie-Yug", 2023. – 110 s. – ISBN 978-5-93491-946-8.
11. Cacenko, L. V. Fasciacya v prirode i ehksperimente / L. V. Cacenko, D. L. Savichenko // Politematicheskij setевой ehlektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 123. – S. 1785-1799.