

ИЗУЧЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ ДЛЯ МАКРОФИТОВ

© 2023

Акатьева Т.Г.

Государственный аграрный университет Северного Зауралья (г. Тюмень, Российская Федерация)

Аннотация. В статье приводятся результаты исследований токсичности ингибитора коррозии, применяемого для обработки нефтепромыслового оборудования, по отношению к представителю погруженных водных растений – элодеи канадской *Elodea canadensis*. Подробно приведена характеристика токсиканта и методик проведения исследований. Указан метод математической обработки. В работе представлены результаты изучения токсичности вещества в широком диапазоне концентраций: от 100 до 5000 мг/дм³ (4 суток – острый опыт) и 0,05–500,0 мг/дм³ (30 суток – хронический опыт). В течение эксперимента наблюдали за изменением состояния и выживаемостью растений, морфологических показателей (прирост основного побега, число боковых отростков и их длина, число корней и их длина, суммарный прирост элодеи). Установлено, что максимальные количества вещества (5000 и 500 мг/дм³ – острый и хронический опыты соответственно) вызывают 100%-ную гибель растений. Диапазоны меньших концентраций стимулируют морфологические показатели. По результатам исследований в качестве пороговой концентрации для ингибитора можно принять 0,5 мг/л, допустимой – 0,05 мг/л.

Ключевые слова: ингибитор коррозии; концентрации вещества; токсичность; острый и хронический опыты; элодея канадская; морфологические показатели; тест-функции; суммарный прирост элодеи; летальные и пороговые концентрации.

STUDY OF THE TOXICITY OF A CORROSION INHIBITOR FOR MACROPHYTES

© 2023

Akatieva T.G.

Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russian Federation)

Abstract. This article presents the results of studies of the toxicity of a corrosion inhibitor used to treat oilfield equipment in relation to a representative of submerged aquatic plants – *Elodea canadensis*. The characteristics of the toxicant and research methods are given in detail. The method of mathematical processing is indicated. The work presents the results of studying the toxicity of the substance in a wide range of concentrations: from 100 to 5000 mg/dm³ (4 days – acute experience) and 0,05–500,0 mg/dm³ (30 days – chronic experience). During the experiment, changes in the condition and survival of plants, morphological indicators (growth of the main shoot, number of lateral shoots and their length, number of roots and their length, total growth of elodea) were observed. It has been established that the maximum amounts of the substance (5000 and 500 mg/dm³ – acute and chronic experiments, respectively) cause 100% plant death. Lower concentration ranges stimulate morphological parameters. According to the research results, 0,5 mg/l can be taken as a threshold concentration for an inhibitor, and 0,05 mg/l is acceptable.

Keywords: corrosion inhibitor; substance concentration; toxicity; acute and chronic experiences; *Elodea canadensis*; morphological indicators; test functions; total growth of elodea; lethal and threshold concentrations.

Введение

На сегодняшний день одним из комплексных актуальных вопросов в экологии остается проблема загрязнения водной среды, масштабность которого с каждым годом растет. В результате активной хозяйственной деятельности человека в водные системы могут поступать различные токсиканты, имеющие разный уровень токсического воздействия [1, с. 306–307]. В настоящее время трудно уже представить себе развитие экономики тюменского региона без освоения и эксплуатации месторождений по добыче нефти и газа. Вместе с тем следует учитывать и тот факт, что на всех этапах нефте- и газодобычи отмечается негативное влияние на компоненты окружающей среды [2, с. 6]. Остро стоит проблема загрязнения природных водоемов, что связано с увеличением про-

мышленного освоения северных территорий Тюменской области. Речные воды загрязнены нефтепродуктами, фенолами, соединениями меди, цинка, марганца и железа. Наибольшую опасность представляет нефтяное загрязнение, обусловленное влиянием нефтегазового комплекса [3, с. 158], в том числе в результате различных аварий, причинами которых часто становится коррозия нефтепромыслового оборудования и нефтепроводов [4, с. 8].

Аварийные выбросы нефтепродуктов в окружающую среду вызывают особую озабоченность [5]. Известно, что углеводородные компоненты относятся к канцерогенам и нейротоксичным органическим загрязнителям. Было установлено, что в каждом случае разливается в среднем около 50 тыс. баррелей сырой нефти [6]; эта проблема касается и Тюменской области.

На завершающей стадии разработки месторождения коррозия усиливается по следующим причинам: увеличение обводненности, износ оборудования, применяемые методы интенсификации. В связи с этим повышается число отказов добывающих скважин. Становятся необходимыми исследования коррозии, а также методы борьбы с ней [7, с. 434]. Наиболее оптимальным методом определения токсичности различных веществ на организмы считается метод биотестирования, в частности фитотестирования. Его используют не только как способ токсикологической оценки сред, например почв и вод, но и как весьма распространенный прием оценки токсичности или биоактивности различных материалов, химикатов, промышленных отходов [8, с. 40].

В связи с этим *цель исследований* заключалась в изучении токсичности ингибитора коррозии – сложной технической смеси, применяемой для обработки нефтепромыслового оборудования – по отношению к *Elodea canadensis*.

Для этого были определены следующие *задачи*:

- оценить влияние вещества на морфофизиологические показатели растений;
- определить диапазон летальных и недействующих концентраций для данного тест-объекта;
- выявить наиболее чувствительную тест-функцию растений.

Материал и методики исследований

Ингибиторы коррозии – вещества, введение которых в относительно небольших количествах в агрессивную среду вызывает заметное замедление коррозии металлов и сплавов. В нефтяной и газовой промышленности ингибиторы коррозии применяются для защиты оборудования, скважин, установок нефти и газа. При этом используются высокомолекулярные органические ингибиторы, содержащие азот, серу или кислород, растворимые в углеводородах, воде или метаноле [9, с. 335].

Изучаемый ингибитор коррозии ИКБ-2-2 – сложная смесь солей аминоксидов и имидазолинов с жирными кислотами талловых масел – 50% и керосина – 50% [10, с. 67, 68].

В качестве тест-объекта использовали элодею канадскую (*Elodea canadensis* Michx, 1803) – представитель погруженной высшей водной растительности, широко распространенный в пресноводных водных объектах умеренной зоны. Стебли растения способны вырастать до 3 м в длину и образовывать мощные

заросли. Растет, свободно плавая в толще воды, в течение всего года [11, с. 59].

Высшие водные растения являются обязательными тест-организмами при установлении ПДК вредных веществ, сбрасываемых в природные водоемы [12, с. 169].

Для исследований методом разведения готовили растворы ингибитора в диапазоне концентраций 100,0–5000,0 мг/дм³ (острые опыты) и 0,05–500,0 мг/дм³ (хронические опыты). В качестве контроля и для приготовления растворов использовали отстоянную в течение 7–10 суток водопроводную воду.

Для экспериментов использовали верхнюю часть побега элодеи длиной 4 см без боковых отростков и корней и по 5 экземпляров помещали в кристаллизаторы с растворами исследуемых веществ и с водой без токсиканта (контроль) объемом по 1 дм³ в трех повторностях [11, с. 63; 13]. Оценку токсичности вещества осуществляли по следующим параметрам: состояние растений, выживаемость и прирост основного побега, число боковых отростков и их длина, число корней и их длина, суммарный прирост элодеи [14, с. 10]. Прирост основного побега элодеи определяли, вычитая исходные 4 см. Суммарный прирост растения составляет из суммы прироста основного побега и длины боковых отростков. Прирост выражали в сантиметрах, число боковых отростков и корней – в штуках (экз.). У элодеи в лабораторных условиях боковые отростки и корни появляются, как правило, на 10–20 сутки. Отмечают время их появления. Прирост, число и длину боковых отростков и корней рассчитывают на одно растение [11, с. 64]. Продолжительность острых опытов – 4, хронических – 30 суток.

Результаты исследований были обработаны методом вариационной статистики [15].

Результаты исследований и их обсуждение

В *острых опытах* 100%-ную гибель растений регистрировали лишь в максимальной концентрации 5000 мг/дм³, в растворах с меньшим содержанием вещества снижения выживаемости не отмечали. Несмотря на это, наблюдалось замедление среднесуточного прироста основного побега (на 35–52% в сравнении с контрольными растениями) (рис. 1).

Гибели растений предшествовали: отмирание точек роста, потеря тургора, распад растений на отдельные мутовки, побурение, лизис.

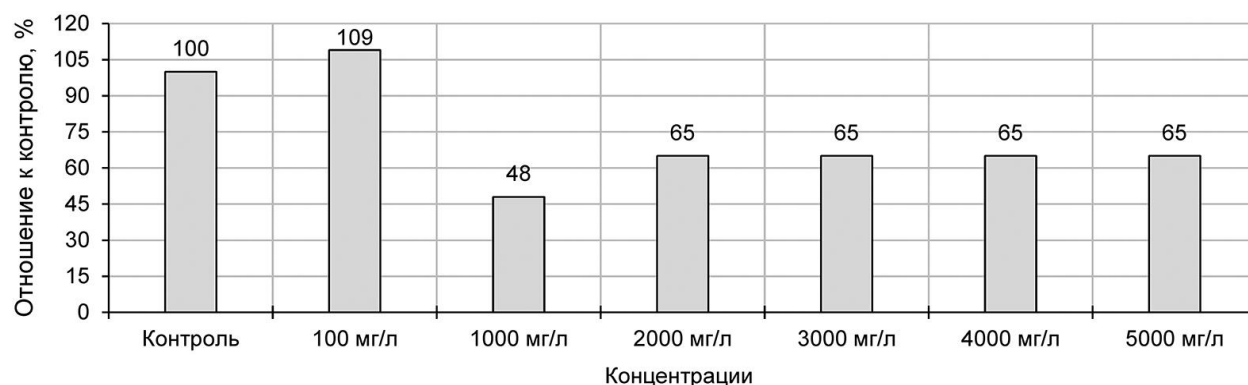


Рисунок 1 – Изменение прироста основного побега *Elodea canadensis* к 4 суткам опыта, % к контролю

Для проведения более длительного эксперимента (хронический опыт, 30 суток) исследовали диапазон концентраций 0,05 до 500,0 мг/дм³. Результаты исследований показали, что в максимальной концентрации, 500 мг/дм³, отмечалась 100%-ная гибель растений уже к 10 суткам наблюдений. По мере снижения содержания вещества в растворах гибель растений была ниже. Так, в концентрации 50 мг/дм³, к 26 суткам опыта выживало 70%, а в диапазоне 5,0–0,05 мг/дм³ к 30 суткам наблюдений – 100%.

Вместе с тем количество вещества 50,0 мг/дм³ стимулировало темп роста основного побега элодеи (см/сут.) на 60% в сравнении с растениями из контрольного варианта. При этом задерживался рост (количество и среднесуточный прирост) боковых побегов – относительно контроля на 57 и 29% соответственно. На минимальные количества вещества растения реагировали снижением среднесуточного прироста основного побега и максимальным темпом роста и числа боковых побегов: на 81–82% выше контрольных растений. В концентрациях 0,5 и 5,0 мг/л отличия от контроля по морфологическим показателям составляли 13–31%. Тем не менее среднесуточный пророст основного побега был ниже, чем в максимальной концентрации, на 22% (рис. 2).

В средних концентрациях (0,5 и 5,0 мг/л) отличия от контроля характеризовались как промежуточные. Следует отметить, что при линейной зависимости среднесуточного прироста основного побега от концентрации ИКБ скорость роста элодеи колебалась на протяжении всего опыта как у контрольных, так и у опытных растений (табл. 1).

Эффект торможения темпов роста элодеи отмечали в опытах и с другими токсикантами. Так, при влиянии фунгицида «Каюнис, КЭ» в концентрации 25,0 мг/л прирост основного побега снижался, и к концу эксперимента разница с контролем приобрела статистически достоверный характер. У макрофитов в концентрации 50,0 мг/л с 15-х суток опыта отмечено статистически достоверное снижение темпа роста. Фунгицид в концентрации 100,0 мг/л достоверно угнетал процесс роста элодеи на протяжении всего эксперимента. При этом у растений наблюдались ослабление тургора и побледнение листьев [14, с. 14–15]. Ингибиторный эффект отмечали при действии тетрациклина в концентрациях 60 мг/л и выше. Тогда как меньшие количества вещества в области исследованных концентраций от 5 до 30 мг/л вызывали стимулирование роста побегов элодеи по сравнению с контролем в условиях хронического эксперимента [16, с. 43].

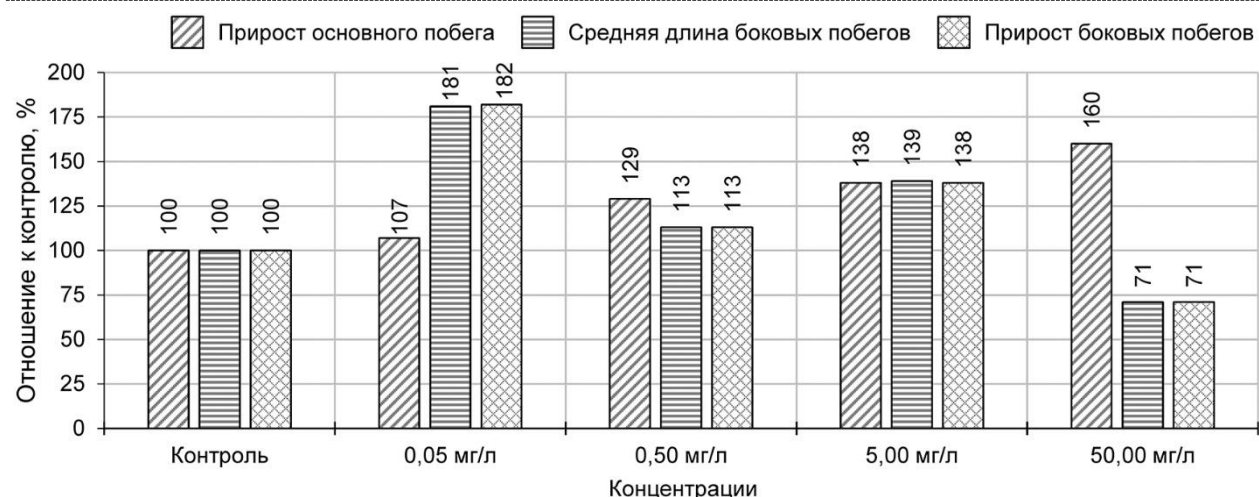


Рисунок 2 – Изменение морфологических показателей *Elodea canadensis* в хроническом опыте, % к контролю

Таблица 1 – Показатели жизнеспособности элодеи к 30 суткам опыта с ИКБ-2-2

Показатели	Концентрация ИКБ-2-2, мг/л				
	Контроль	0,05	0,5	5,0	50,0
Выживаемость, %	100,0	100,0	100,0	100,0	70,0
Среднесуточный прирост основного побега, см/сут.	0,126	0,135	0,163*	0,174*	0,201*
Средняя длина боковых побегов, см	1,15 ± 0,2	2,08 ± 0,31*	1,30 ± 0,35	1,59 ± 0,26	0,81 ± 0,07
Среднесуточный прирост бокового побега, см/сут.	0,038	0,069	0,043	0,053	0,027
Суммарный прирост растения, см	4,93	6,13	6,19*	6,81*	6,3*
Среднее число боковых побегов на 1 растение,	1,4	1,6	1,1	1,5	0,6
Средняя длина корней, см	–	1,50 ± 0,0	4,45 ± 1,60	3,56 ± 0,95	5,75 ± 0,80

Примечание. Достоверные отличия от контроля: * – на уровне P < 0,05.

Показано, что среднесуточный прирост основного побега находился в прямой зависимости от концентрации ингибитора. При этом скорость роста элодеи колебалась в течение всего опыта как у контрольных, так и у опытных растений.

К концу срока наблюдений суммарный прирост растений из опытных вариантов, как и среднесуточный прирост, был выше контрольных значений на 24–38%. Вероятно, такой эффект объясняется присутствием в растворах различных органических веществ (аминоамидов, полиэтиленполиаминов) и их минерализацией, которые используются растениями в качестве биогенов.

Средняя длина корней элодеи в опытных растворах изменялась прямо пропорционально содержанию вещества. Так, если в концентрации 0,05 мг/л средняя длина корней составляла 1,5 см, то в 50 мг/л этот показатель был в 3,8 раза выше. Подобный эффект отмечали и при изучении нефтезагрязненных донных отложений: в опытах с элодеей во всем диапазоне концентраций количество и длина корней были выше К на 41,7–166,7 и 54,1–130,4% соответственно [17, с. 34].

Использование элодеи в качестве тест-объекта широко используется в практике токсикологических исследований. В каждом конкретном случае растения проявляют различную чувствительность к ксенобиотикам. К примеру, при оценке фитотоксичности трех видов органических ксенобиотиков (этилацетат, бутанол-1, тетрахлорметан) в концентрациях 5–10 ПДК было установлено, что *E. canadensis* смогла выдержать загрязнение всеми тремя ксенобиотиками [18, с. 312].

Другими исследователями [19, с. 58] изучалось действие тяжелых металлов на процесс фотосинтеза у водного растения *Elodea canadensis*: при влиянии свинца и никеля в концентрациях 0,03–5,0 мг/л наблюдалось разрушение хлоропластов, приводящее к снижению количества хлорофилла.

При оценке токсичности донных отложений некоторых водных объектов с использованием элодеи канадской установлено, что при длительном воздействии они накапливают токсические вещества (нефтепродукты, тяжелые металлы) и по мере возрастания концентрации в тканях усиливается токсический эффект, нарушается процесс фотосинтеза, возникают хромосомные нарушения, затормаживается рост корней и листьев, что в итоге приводит к гибели клеток в меристеме корней, а затем и всего растения. Поэтому высшие водные растения могут быть эффективными индикаторами токсичности твердых сред (донные отложения, почва, отходы) при долгосрочном тестировании [17, с. 43].

Таким образом, выполненные острые и хронические опыты с элодеей показали, что концентрации ингибитора 5000 мг/л и выше являются остролетальными: они в течение короткого времени убивают более 50% растений. За хроническую летальную концентрацию можно принять 50,0 мг/л: она в течение 30 суток вызывала гибель части растений. Летальному исходу предшествовали угнетение роста и функциональной активности растений, отмирание точек роста, потеря тургора, побурение побегов, затем распад растений на отдельные муговки и лизис. Кон-

центрации ингибиторов, не вызывающие гибели растений в течение 30 суток, оказывали стимулирующий эффект, проявляющийся в стимуляции роста побегов [20, с. 73].

Выводы

1. При воздействии ингибитора коррозии на макрофиты выявлены серьезные отклонения в росте и развитии элодеи: на морфологическом (учет размеров и количества корней, листьев, побегов) уровне.
2. Летальными концентрациями изученного токсиканта для *Elodea canadensis* приняты количества вещества 5000 и 50 мг/л – в острых и хронических экспериментах соответственно; пороговой – 0,5, допустимой – 0,05 мг/л.
3. Чувствительной тест-функцией элодеи оказался прирост боковых побегов.

Список литературы:

1. Поклонов В.А., Глебов В.В., Аскарлова Д.А., Ерофеева В.В., Аникина Е.В. Исследование взаимодействия ксенобиотиков с макрофитами в условиях экспериментальных водных экосистем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29, № 4. С. 305–314. DOI: 10.22363/2313-2310-2021-29-4-305-314.
2. Акатьева Т.Г. Качество воды водных объектов при обустройстве Ево-Яхинского месторождения // АПК: инновационные технологии. 2022. № 2. С. 6–10. DOI: 10.35524/2687-0436_2022_02_06.
3. Хохлов М.А., Акатьева Т.Г. Оценка качества некоторых водных объектов Ханты-Мансийского автономного округа – Югра // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сб. мат-лов LI междунар. студ. науч.-практ. конф. Ч. 1. Тюмень: ГАУСЗ, 2017. С. 158–160.
4. Акатьева Т.Г. Влияние ингибитора коррозии, используемого при нефтедобыче, на ракообразных // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2015. № 3 (30). С. 7–11.
5. Nilanjana D., Preethy C. Biotechnology Research International. 2011. 13 p.
6. Delin G.N., Essaid H.I., Cozzarelli I.M., Lahvis M.H., Bekins B.A. Ground water contamination by crude oil near Bemidji, Minnesota [Internet] // USGS science for a changing world. DOI: 10.3133/fs08498.
7. Салманов В.Н. Борьба с коррозией в нефтяной промышленности // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 9 (17). С. 434–435.
8. Тимофеева С.С., Морозова О.В. Фитотестирование реагентной технологии для предотвращения заторных явлений на реках // Фундаментальные исследования. 2014. № 3–1. С. 39–45.
9. Нефтегазовая энциклопедия. Т. 1. А–Й. М.: Московское отд. «Нефть и газ» МАИ; ОАО «ВНИИОЭНГ», 2002. 364 с.
10. Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М.: Мединор, 1995. 224 с.
11. Акатьева Т.Г. Экоотоксикология: учеб.-метод. пособие. Тюмень: Вектор-Бук, 2018. 99 с.
12. Фомина А.А. Биотестирование воды Волгоградского водохранилища с использованием *Lemna minor* // Научные труды Национального парка «Хвалынский»: сб. науч. ст. Вып. 11. Саратов–Хвалынский: Амирлит, 2019. С. 169–173.

13. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения / под ред. С.А. Соколовой. М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 201 с.

14. Зинчук О.А., Баимова И.Б., Карпушова Т.Н., Бесчетнова Л.М. Воздействие фунгицида «Каюнис, КЭ» на различные звенья трофической цепи в модельном эксперименте // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 6, № 1. С. 7–19.

15. Акатьева Т.Г. Использование метода вариационной статистики в экотоксикологии // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. ст. по мат-лам III всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (10 апреля 2019 г.) / под общ. ред. проф. С.Ф. Сухановой. Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2019. С. 179–183.

16. Тимофеева С.С., Тюкалова О.В., Ульрих Д.В. Фиторемедиационный потенциал водных растений к тетрациклину в условиях Восточной Сибири // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 3. С. 40–50.

17. Рыбина Г.Е., Михайлова Л.В., Петухова Г.А. Оценка токсичности донных отложений некоторых водных объектов по их действию на макрофиты // Вестник рыбохозяйственной науки. 2020. Т. 7, № 2 (26). С. 30–51.

18. Поклонов В.А., Глебов В.В., Аскарова Д.А., Ерофеева В.В., Аникина Е.В. Исследование взаимодействия ксенобиотиков с макрофитами в условиях экспериментальных водных экосистем // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2021. Т. 29, № 4. С. 305–314.

19. Лобкова Г.В. Влияние тяжелых металлов на процесс фотосинтеза у водного растения *Elodea canadensis* // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. тр. по мат-лам 9-й междунар. науч.-практ. конф. Саратов: Саратов. гос. тех. ун-т, 2019. С. 56–59.

20. Акатьева Т.Г. Действие на компоненты водных экосистем технических смесей, применяемых при нефтедобыче (на примере ингибиторов коррозии ИКБ-2-2 и ИКБ-6-2): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.18. Борок, 2003. 169 с.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Акатьева Татьяна Григорьевна , кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и рационального природопользования; Государственный аграрный университет Северного Зауралья (г. Тюмень, Российская Федерация). E-mail: akatyevat@mail.ru.	Akatieva Tatyana Grigorievna , candidate of biological sciences, associate professor of Ecology and Environmental Management Department; Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russian Federation). E-mail: akatyevat@mail.ru.

Для цитирования:

Акатьева Т.Г. Изучение токсичности ингибитора коррозии для макрофитов // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 4. С. 10–14. DOI: 10.55355/snv2023124101.