

ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ ЛИКВИДАЦИИ ЗОНЫ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН НА РАСТЕНИЯ И ПОЧВЫ

И. Л. Бухарина, доктор биологических наук, профессор, директор института гражданской защиты, Удмуртский государственный университет (УдГУ), buharin@udmlink.ru, г. Ижевск, Россия,

М. С. Д. Аль Маолаи, аспирант, Удмуртский государственный университет (УдГУ), tshmal1996@mail.ru, г. Ижевск, Россия,

Н. А. Исламова, кандидат биологических наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды, Удмуртский государственный университет (УдГУ), islamovanadezhda@mail.ru, г. Ижевск, Россия,

Г. З. Самигуллина, кандидат биологических наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды, Удмуртский государственный университет (УдГУ), gyzals@mail.ru, г. Ижевск, Россия

Аннотация. Изучено влияние солевого раствора, предлагаемого для ликвидации зоны низкой интенсивности поглощения при строительстве нефтяных скважин, на растения. Закачка насыщенных растворов разных солей в поглощающий пласт с дальнейшим перемешиванием в пласте для образования нерастворимого осадка, который закупоривает каналы зон поглощения, является важным техническим решением для ликвидации поглощений низкой интенсивности. Однако имеется вероятность попадания раствора в плодородный слой земли и воздействие на показатели почвы и состояние растительного покрова. При восстановлении нарушенных земель на этапе биологической рекультивации большое значение имеет способность растений аккумулировать некоторые загрязнители. При этом известно, что между химическим составом растений и элементным составом среды существует определенная связь, однако прямой связи не наблюдается, поскольку в некоторых случаях растения относятся избирательно к накоплению химических элементов. В связи с этим был проведен эксперимент по исследованию воздействия раствора, используемого для ликвидации зоны низкой интенсивности поглощения при строительстве нефтяных скважин на тестовые культуры злаковых растений, которые используются при рекультивации территорий после добычи нефти. Результаты проведенного эксперимента показали, что при использовании раствора на слабокислых и кислых субстратах существенного отрицательного влияния на биологические показатели растений не наблюдалось. На слабокислых субстратах у растений отмечен ряд показателей, свидетельствующих о реакции растений на стрессовый фактор.

Abstract. The effect of a salt solution proposed for the elimination of a low-intensity absorption zone during the construction of oil wells on plants has been studied. The injection of saturated solutions of different salts into an absorbing formation, with subsequent mixing in the formation to form an insoluble sediment that clogs the absorption zone channels, is an important technical solution for eliminating low-intensity absorption. However, there is a possibility that the solution will enter the fertile soil layer and affect soil parameters and the state of the vegetation. When restoring disturbed lands at the stage of biological reclamation, the ability of plants to accumulate certain pollutants is of great importance. It is known that there is a certain relationship between the chemical composition of plants and the elemental composition of the environment, but no direct relationship is observed, since in some cases plants are selective in accumulating chemical elements. In this regard, an experiment was conducted to study the effect of a solution used to eliminate a low-intensity absorption zone during the construction of oil wells on test crops of cereal plants that are used in the reclamation of territories after oil extraction. The results of the experiment showed that when using the solution on weakly acidic and acidic substrates, no significant negative impact on the biological indicators of plants was observed. On weakly acidic substrates, plants showed a number of indicators indicating the reaction of plants to a stress factor.

Ключевые слова: насыщенные солевые растворы, субстраты, биологическая рекультивация, поглощения низкой интенсивности, фотосинтетические пигменты.

Keywords: saturated salt solutions, substrates, biological remediation, low intensity absorption, photosynthetic pigments.

Введение. Одним из видов осложнений при бурении скважин является поглощение буровых промывочных жидкостей, ликвидация которых может потребовать значительных затрат времени и средств. Объектами поглощений являются продуктивные и водоносные пласты с большой пористостью и низким пластовым давлением.

Поглощения определяются интенсивностью и перепадом давления в системе «скважина—пласт». Поглощения подразделяют на категории в зависимости от их интенсивности [1—6]. При этом поглощения умеренной и частичной интенсивности относятся к поглощениям низкой ин-

тенсивности, а полные и катастрофические поглощения — к поглощениям высокой интенсивности.

Совокупность многочисленных трещин способствовала скоплению в них нефти, между объемом нефти и количеством трещин наблюдается прямая зависимость. В зависимости от поперечных размеров трещины подразделяются на макротрещины (раскрытие более 0,1 мм) и микротрещины.

Предложенное техническое решение для ликвидации поглощений низкой интенсивности относится к способу закачки насыщенных раство-

ров разных солей и порционной закачки их в поглощающий пласт, с дальнейшим перемешиванием в пласте, для образования нерастворимого осадка, который закупоривает каналы зон поглощения [7].

При соединении водных растворов солей с разной валентностью металлов образуется нерастворимый осадок. Например, при соединении водных растворов сернокислого алюминия и хлористого кальция образуется гипс (нерастворимый).

С целью недопущения преждевременного образования гипса в бурительных трубах (канал транспортировки) производится разделение растворов пресной водой (буфер). При перемешивании растворов в «каналах» поглощающего пласта образуется гипс, который закупоривает их, вследствие чего происходит ликвидация поглощения. Осевший в каналах гипс на «дневную» поверхность не выходит, следовательно, на окружающую среду и на флору прямого влияния не оказывает.

При дальнейшем строительстве скважины второй компонент — хлорид алюминия ($AlCl_3$) через циркуляционную систему (скважина — «рабочие емкости») сбрасывается в шламовый амбар. Шламовый амбар — это углубление на земной поверхности. Стенки амбара изолированы, но есть вероятность проникновения хлорида алюминия в почву. Также при утилизации, при погрузочно-разгрузочных работах могут быть разливы, следовательно, этот продукт (хлорид алюминия) с большой вероятностью может попадать в плодородный слой земли. В связи с этим возникла необходимость оценки влияния раствора на показатели почвы и состояние растительного покрова.

Большое значение при биологической рекультивации нарушенных земель имеет способность растений аккумулировать некоторые загрязнители. Многие научные исследования показали, что между химическим составом растений и элементарным составом среды существует определенная связь, однако прямого влияния не наблюдается, поскольку в некоторых случаях растения относятся избирательно к накоплению химических элементов [8].

В небольших концентрациях тяжелые металлы необходимы для жизнедеятельности растений. Металлы-микроэлементы стимулируют синтез белков, жиров и углеводов, участвуют в процессах метаболизма, связываясь с биологически активными веществами (гормонами, витаминами, белками), стимулируют ростовые реакции, повышают иммунитет растений. Поэтому ряд металлов входит в состав минеральных удобрений [9].

Во многих исследованиях ученые приводят различные значения нормальных концентраций

микроэлементов в растениях. Связано это с тем, что установить пределы токсичного содержания конкретного элемента очень сложно, так как она зависит от различных факторов: гранулометрического состава почвы, ее кислотности, влажности, содержания гумуса и т. д. [8].

Защитная реакция растений на повышенное содержание солей в почве во многих случаях направлена на ограничение их проникновения. При отсутствии у растений защитных механизмов к высокому содержанию солей их адаптация может идти за счет эффективных механизмов засухоустойчивости, важным критерием которого (как и солеустойчивости) является способность к осморегуляции, стабильность водного и осмотического потенциалов содержимого растительных клеток.

Аккумуляция низкомолекулярных соединений — еще один мощный защитный механизм, позволяющий поддерживать водный статус клеток. Это достигается за счет аккумуляции в клетках неорганических ионов и (или) совместимых осмолитов (аминокислоты, четвертичные ионы, сахароспирты и углеводы) [8].

В адаптационных реакциях растений к действию стрессоров окружающей среды, в том числе действию тяжелых металлов, участвуют различные метаболиты, такие как витамины, ферменты, пигменты, гормоны, фенольные соединения [10].

В связи с обсуждением и анализом представленных выше фактов целью работы было исследование воздействия раствора, используемого для ликвидации зоны низкой интенсивности поглощения при строительстве нефтяных скважин, на тестовые растения, которые используются при рекультивации территорий после добычи нефти.

Модели и методы

В качестве объекта исследований использовались тестовые культуры злаковых растений: смесь семян 50 % тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.) и 50 % мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), норма высева травосмеси составила 50 г на 1 м². Эти виды злаковых культур достаточно неприхотливы и не требуют регулярного ухода. Оптимальная температура для прорастания 22—25 °С. Уход за растениями заключался в поливах по мере необходимости, для полива использовалась дистиллированная вода. Продолжительность эксперимента — 3 месяца. В качестве субстрата использовались песок и кокосовая стружка в соотношении 2:1. Солевой раствор внесен из расчета 1 л на м² (площадь одного контейнера 128,25 см²).

Вегетационный эксперимент проведен в учебно-научной лаборатории «Экологические био-

Таблица 1
Схема вегетационного опыта

А — фактор — кислотность почвы А ₀ — кислый субстрат (рН 5,0) А ₁ — сильнокислый субстрат (рН 4,0) А ₂ — слабокислый субстрат (рН 5,7)	В — фактор — наличие солевого раствора В ₀ — контроль (без раствора) В ₁ — внесение раствора
--	--

технологии» Удмуртского государственного университета по схеме и представлен в таблице 1.

Таким образом, опыт включал 6 вариантов в трехкратной повторности:

A0B0 A1B0 A2B0

A0B1 A1B1 A2B1

Растения выращивали в климатической камере, где температура днем составляла +23 °С, ночью — +19 °С. Продолжительность светового дня — 10 часов. Растения поливали равным количеством дистиллированной воды.

По окончании эксперимента проводили морфологический анализ (биомасса надземной части) и биохимический анализ растений (анализ содержания фотосинтетических пигментов, содержание сухого вещества в надземной части, содержание аскорбиновой кислоты). Содержание сухого вещества в тестовых культурах определяли по ГОСТ 31640—2012 Методы определения содержания сухого вещества. Количественное определение хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов было проведено на спектрофотометре ПЭ-5400 ВИ (Россия) путем определения оптической плотности спиртовой вытяжки пигментов. Плотность экстракта на спектрофотометре измеряли при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* (660 нм) и *b* (642,5 нм) в красной области спектра и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов (440,5 нм). Содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях определяли расчетным путем [11, 12]. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях растений определяли по ГОСТ 24556—89 (титриметрический метод) [13].

Результаты и их обсуждение

Важное значение имело влияние раствора на показатели кислотности субстрата. Значения рН и морфологические показатели растений представлены в таблице 2.

Результаты эксперимента показали, что рН субстрата изменился практически во всех образцах. В варианте со слабокислым субстратом выявлено достоверное различие при внесении раствора (сравнение вариантов A2B0 и A2B1). В этих

же вариантах выявлено достоверное снижение биомассы растений, в то же время по содержанию сухого вещества в растительной биомассе достоверных различий не наблюдалось.

Это доказывает тот факт, что растения в процессе роста выделяют химические вещества, спо-

Таблица 2
Биологические показатели тестовых растений и рН почвы

Вариант опыта*	Биомасса надземной части, г	Содержание сухого вещества в надземной части, %	рН почвы
A0B0	3,17 ± 0,17** 2,74...3,60	19,50 ± 1,87 14,85...24,15	4,80 ± 0,06 4,64...4,96
A0B1	2,32 ± 0,40 1,33...3,31	19,08 ± 0,58 17,63...20,53	4,76 ± 0,14 4,41...5,11
A1B0	1,76 ± 0,29 1,04...2,48	19,23 ± 1,99 14,3...24,16	4,86 ± 0,05 4,74...4,98
A1B1	1,17 ± 0,22 0,62...1,72	20,17 ± 1,69 15,98...24,36	4,79 ± 0,02 4,75...4,83
A2B0	2,24 ± 0,46 1,1...3,38	17,77 ± 0,44 16,68...18,86	4,87 ± 0,02 4,82...4,92
A2B1	0,49 ± 0,15 0,13...0,85	19,14 ± 2,01 14,16...24,12	4,57 ± 0,02 4,53...4,61

Примечание к таблице. *Вариант опыта: фактор А — кислотность почвы: А₀ — кислая (рН 5,0 ± 0,2), А₁ — сильнокислая (рН 4,0 ± 0,2), А₂ — слабокислая (рН 5,7 ± 0,2); фактор В — наличие солевого раствора: В₀ — контроль, без раствора, В₁ — с раствором. ** Показано среднее значение показателя ± стандартное отклонение; 2,74...3,60 — доверительный интервал для среднего значения.

Таблица 3
Содержание фотосинтетических пигментов в тестовых растениях

Вариант опыта*	Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	Содержание каротиноидов, мг/г
A0B0	1,912 ± 0,145** 1,551...2,273	0,260 ± 0,036 0,170...0,350	0,637 ± 0,024 0,577...0,697
A0B1	1,901 ± 0,246 1,289...2,513	0,208 ± 0,017 0,166...0,250	0,669 ± 0,024 0,609...0,729
A1B0	2,010 ± 0,149 1,640...2,380	0,267 ± 0,024 0,209...0,325	0,723 ± 0,058 0,579...0,867
A1B1	2,193 ± 0,080 1,994...2,392	0,256 ± 0,009 0,234...0,278	0,750 ± 0,093 0,520...0,980
A2B0	1,644 ± 0,122 1,342...1,946	0,227 ± 0,013 0,195...0,259	0,517 ± 0,033 0,436...0,598
A2B1	1,880 ± 0,175 1,446...2,314	0,274 ± 0,035 0,188...0,360	0,785 ± 0,060 0,636...0,934

Примечание к таблице. *Вариант опыта: фактор А — кислотность почвы: А₀ — кислая (рН 5,0 ± 0,2), А₁ — сильнокислая (рН 4,0 ± 0,2), А₂ — слабокислая (рН 5,7 ± 0,2); фактор В — наличие солевого раствора: В₀ — контроль, без раствора, В₁ — с раствором. ** Показано среднее значение показателя ± стандартное отклонение; 1,551...2,273 — доверительный интервал для среднего значения.

Таблица 4
Содержание аскорбиновой кислоты
в растениях, мг/100 г

Вариант опыта	Среднее значение	Доверительный интервал –95,000 %	Доверительный интервал +95,000 %	Стандартное отклонение
A0B0	157,3	138,7	175,9	7,5
A0B1	176,0	151,0	201,0	10,1
A1B0	105,0	86,4	123,6	7,5
A1B1	115,0	104,2	125,8	4,3
A2B0	71,3	62,0	80,6	3,8
A2B1	89,2	85,6	92,8	1,4

Примечание к таблице. Вариант опыта: фактор А — кислотность почвы: А0 — кислая (рН 5,0 ± 0,2), А1 — сильнокислая (рН 4,0 ± 0,2), А2 — слабокислая (рН 5,7 ± 0,2); фактор В — наличие солевого раствора: В0 — контроль, без раствора, В1 — с раствором.

собные изменить химическую среду вокруг растения. Но для подтверждения этой версии необходимы дополнительные исследования.

Содержание фотосинтетических пигментов в тестовых растениях представлено в таблице 3.

В вариантах со слабокислым субстратом также отмечено достоверное увеличение каротиноидов в растениях при внесении раствора (сравнение вариантов А2В0 и А2В1), что, скорее всего, связано с реакцией на стресс, так как каротиноиды являются факторами нейтрализации стрессоров, выполняя роль низкомолекулярных антиоксидантов. Антиоксидантными и защитными свойствами у растений обладает аскорбиновая кислота, поэтому был проведен анализ растений на содержание данного антиоксиданта (табл. 4).

Библиографический список

- Харитонов А. А., Квеско Н. Г. Методы ликвидации осложнений при бурении скважин на Куюмбинском лицензионном участке // *Международный научно-исследовательский журнал*. — 2016. — № 5-6. — С. 99—101.
- Сверкунов С. А., Вахроев А. Г., Мартынов Н. Н. Ликвидация осложнений при бурении скважин на нефть и газ в сложных геологических условиях Восточной Сибири // *Известия Сибирского отделения. Секция наук о Земле РАЕН*, 2017. — № 4. — С. 94—97.
- Семенов Н. Я. Исследование и изоляция поглощающих и водопровяляющих пластов: пособие для инженера-технолога по бурению скважин. Технология изоляционных работ. — Уфа: ООО «Монография», 2014. — 528 с., с ил.
- Нургалева И. Т., Санникова Ю. О., Мильников А. С., Кузьмин В. Н. Профилактика поглощений малой интенсивности [Электронный ресурс] // *Вестник Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета*. — 2020. — № 1, тем. вып. / Материалы XX Международной конференции молодых ученых «Прогресс науки — залог развития инновационного общества», посв. 1150-летию выдающегося мыслителя Востока аль-Фараби, 13—15 апреля 2020 года, г. Уральск. — С. 62—64.
- Ахлгребави Р., Алрайхан А. В., Макаров С. С., Кузьмин В. Н. Усовершенствование технологии изоляции зон поглощения бурового раствора профильным перекрывателем // *Сборник тезисов XII Международной научно-практической конференции*, 15 апреля 2022 г., Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2022. — С. 138—143.
- Губайдуллин Ф. А., Кузьмин В. Н., Аскаров Р. Ф. [и др.] Ликвидация зон катастрофического поглощения бурового раствора с помощью современного полимерсодержащего реагента «ПРМД» // *Бурение&нефть*. — 2020. — № 3. — С. 44—47.
- Кузьмин В. Н., Аль Маолаи М. С. Д. Ликвидация поглощений буровых промывочных жидкостей низкой интенсивности при строительстве нефтяных скважин // *Нефтяная провинция*. — 2023. — № 1 (33). — С. 209—221.
- Позняк С. С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова // *Вестник Томского гос. ун-та. Биология*. — 2011. — № 1 (13). — С. 123—136.

Результаты сходны с показателями содержания каротиноидов, т. е. в слабокислом субстрате (сравнение вариантов А2В0 и А2В1) растения имеют достоверно более высокое содержание аскорбиновой кислоты.

Заключение

В результате проведенного нами эксперимента было установлено, что солевой раствор, используемый для устранения зон с низкой интенсивностью поглощения при строительстве нефтяных скважин, не оказал значимого отрицательного влияния на морфологические и функциональные показатели злаковых растений, используемых в качестве тест-объектов в эксперименте на кислых и сильнокислых субстратах. Хотя на слабокислых субстратах наблюдается снижение биомассы надземной части растений и повышение содержания каротиноидов, которые свидетельствуют о стрессовой реакции растений на воздействие солевых растворов, для подтверждения необходимы дальнейшие исследования. Инокуляция тестовых растений миксомицетом *Neonectria macrodidima* в условиях эксперимента с внесением в субстраты солевого раствора показали возможность успешного применения данного метода для рекультивации нарушенных почв в результате применения солевых растворов для стабилизации нефтяных пластов. Проведенные исследования могут быть направлены на поиск факторов и механизмов, биотехнологий повышения стрессоустойчивости растений к действию данных растворов, в том числе и на изучение долгосрочных эффектов воздействия солевых растворов на почвенные экосистемы.

9. Титов А. Ф. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам: учебное пособие. — Петрозаводск: Институт биологии КарНЦ РАН, Карельский научный центр РАН, 2011. — С. 77.
10. Бухарина И. Л. Исследование пределов устойчивости микроскопических грибов и формирование коллекции перспективных изолятов // Сигнальные системы растений: от рецептора до ответной реакции организма: Годичное собрание общества физиологов растений России, 21–24 июня 2016 года, Санкт-Петербург. — С. 362–363.
11. Исламова Н. А. Пределы толерантности *Fusarium equiseti* и *Cylindrocarpon magnusianum* и использование инокуляции растений при создании устойчивых искусственных экосистем: специальность 1.5.15 — Экология (биологические науки): диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Исламова Надежда Александровна; Удмуртский государственный университет. — Ижевск, 2022. — 166 с.
12. Методические указания по физиологии и биохимии растений / Сост. Л. В. Кузина, Т. Ю. Власова. — Пермь, 1989. — С. 29–31.
13. ГОСТ 24556—89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С = Products of fruits and vegetables processing. Methods for determination of vitamin C: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.03.89 № 743: введен впервые: дата введения 1990-01-01 / Разработан и внесен Государственным агропромышленным комитетом СССР. — М.: ИПК Издательство стандартов, 1989. — 10 с.

INFLUENCE OF PRODUCTS OF LIQUIDATION OF THE ZONE OF LOW INTENSITY OF ABSORPTION DURING OIL WELLS CONSTRUCTION ON PLANTS AND SOILS

I. L. Bukharin, Ph. D. (Biology), Dr. Habil, Professor, Director of the Institute of Civil Protection, Udmurt State University (UdSU), buharin@udmlink.ru, Izhevsk, Russia,

M. S. D. Al Maolai, Postgraduate, Udmurt State University (UdSU), tshmal1996@mail.ru, Izhevsk, Russia,

N. A. Islamova, Ph. D. (Biology), Associate Professor of the Department of Environmental Engineering, Udmurt State University (UdSU), islamovanadezhda@mail.ru, Izhevsk, Russia,

G. Z. Samigullina, Ph. D. (Biology), Associate Professor of the Department of Environmental Engineering, Udmurt State University (UdSU), gyzals@mail.ru, Izhevsk, Russia

References

1. Kharitonova A. A., Kvesko N. G. Methods for eliminating complications during well drilling at the Kuyumbinsky license area. *International Research Journal*, 2016. No. 5-6. P. 99–101 [in Russian].
2. Sverkunov S. A., Vakhroev A. G., Martynov N. N. Elimination of complications during oil and gas well drilling in complex geological conditions of Eastern Siberia. *Bulletin of the Siberian Branch of the Earth Sciences Section of the Russian Academy of Natural Sciences*, 2017. No. 4. P. 94–97 [in Russian].
3. Semenov N. Ya. Study and isolation of absorbing and water-producing formations: a manual for a well drilling process engineer. Technology of insulation work. Ufa, “Monograph”, 2014. 528 p., with ill [in Russian].
4. Nurgaleeva I. T., Sannikova Yu. O., Mylnikov A. S., Kuzmin V. N. Prevention of low-intensity absorption [Electronic resource]. *Bulletin of the West Kazakhstan Innovation and Technological University*, 2020. No. 1. *Proceedings of the XX International Conference of Young Scientists “Progress of Science — the Key to the Development of an Innovative Society”, dedicated to the 1150th anniversary of the outstanding Eastern thinker al-Farabi, April 13–15, 2020, Uralsk*. P. 62–64 [in Russian].
5. Ahlgrebawi R., Alraikhan A. V., Makarov S. S., Kuzmin V. N. Improving the technology of isolating drilling mud absorption zones with a profile cover, *Collection of abstracts of the XII International scientific and practical conference, April 15, 2022, Izhevsk: Institute of Computer Research*, 2022. P. 138–143 [in Russian].
6. Gubaydullin F. A., Kuzmin V. N., Askerov R. F. [et al.] Elimination of zones of catastrophic absorption of drilling mud using a modern polymer-containing reagent “PRMD”. *Drilling & Oil*, 2020. No. 3. P. 44–47 [in Russian].
7. Kuzmin V. N., Al Maolai M. S. D. Elimination of low-intensity drilling fluid absorption during oil well construction. *Oil Province*. 2023. No. 1 (33). P. 209–221 [in Russian].
8. Poznyak S. S. Content of some heavy metals in vegetation of field and meadow agrophytocenoses under conditions of technogenic pollution of the soil cover, *Bulletin of Tomsk State University. Biology*. 2011. No. 1 (13). P. 123–136 [in Russian].
9. Titov A. F. Physiological foundations of plant resistance to heavy metals: a tutorial. *Petrozavodsk: Institute of Biology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*. 2011. P. 77 [in Russian].
10. Bukharina I. L. Study of resistance limits of microscopic fungi and formation of a collection of promising isolates, *Plant signaling systems: from receptor to response of the organism: Annual meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia, June 21–24, 2016, St. Petersburg*. P. 362–363 [in Russian].
11. Islamova N. A. Limits of tolerance of *Fusarium equiseti* and *Cylindrocarpon magnusianum* and the use of plant inoculation in the creation of sustainable artificial ecosystems: specialty 1.5.15 — Ecology (biological sciences): *thesis for the Ph. D. degree*. Udmurt State University. Izhevsk, 2022. 166 p. [in Russian].
12. Guidelines for plant physiology and biochemistry, Comp. L. V. Kuzina, Perm, 1989. P. 29–31 [in Russian].
13. GOST 24556—89. Products of fruits and vegetables processing. Methods for determining vitamin C. Methods for determination of vitamin C: interstate standard: official publication: approved and put into effect by Resolution of the USSR State Committee on Standards dated 27.03.89 No. 743: introduced for the first time: date of introduction 1990-01-01 / Developed and introduced by the State Agro-Industrial Committee of the USSR. Moscow, IPC Publishing House of Standards, 1989. 10 p. [in Russian].

*Рукопись поступила в редакцию 20.07.2025
Принята к печати 11.08.2025*