

Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления почв и буровых шламов

Л. Н. Скипин¹, Е. В. Захарова¹✉, С. С. Тарасова¹, Е. П. Евтушкова²

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Аннотация. Территории Западной Сибири подвержены как природному, так и техногенному засолению почв. Проведение биологического этапа рекультивации на засоленных почвах с использованием бобовых культур – фитомелиорантов позволит снизить применение азотных удобрений с последующей фиксацией биологического азота клубеньковыми бактериями. **Цель** исследования – выявить оптимальные и критические уровни природного и техногенного химизма засоления, влияющие на жизнедеятельность клубеньковых бактерий донника и люцерны в засоленных питательных средах. **Методы.** Исследования проводились в модельных лабораторных опытах, где химизмы и степень засоления формировались в соответствии с нейтральным, сульфатно-содовым и хлоридно-сульфатным с гипсом. Степень засоления бобового агара создавалась от незасоленного уровня до солончака. По каждому варианту проводился подсчет количества колоний и определялись культуральные признаки. **Научная новизна.** Впервые были определены параметры жизнедеятельности клубеньковых бактерий в засоленных питательных средах, характерных по химизму и степени засоления для солонцов Западной Сибири. Установлено влияние мелиоранта-каогулянта на активность ризобий. **Результаты.** Модельные опыты позволили установить, что в условиях природного и техногенного засоления с нейтральным и сульфатно-содовым химизмом клубеньковые бактерии испытывают острую потребность в кальции, это позволяет снизить показатели ($СД_{50}$ и $СД_{99}$) для ризобий. Внешение гипса в качестве мелиоранта на солонцах и буровых шламах позволяет устранить дефицит кальция в условиях засоления, снизить солонцеватость и токсичность для бобовых культур-фитомелиорантов, а также улучшить физические свойства данных объектов, в частности водопроницаемость, пористость, аэрацию, структурность и другие показатели. Указанный мелиоративный прием должен быть обязательным как для рекультивации солонцов, так и для шламовых амбаров.

Ключевые слова: клубеньковые бактерии, химизм, степень засоления, бобовый агар, осмотическое давление, реакция среды, фитомелиоранты

Для цитирования: Скипин Л. Н., Захарова Е. В., Тарасова С. С., Евтушкова Е. П. Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления почв и буровых шламов // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 278–288. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-278-288>.

Дата поступления статьи: 22.03.2025, **дата рецензирования:** 13.07.2025, **дата принятия:** 10.10.2025.

The reaction of nodule bacteria to the salinization conditions of soils and drilling mud

L. N. Skipin¹, E. V. Zakharova¹, S. S. Tarasova^{1✉}, E. P. Evtushkova²

¹Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

²State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

✉E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Abstract. The territories of Western Siberia are subject to both natural and anthropogenic salinization of soils. The implementation of the biological stage of reclamation on saline soils using legume crops as phytomeliors will reduce the use of nitrogen fertilizers, followed by the fixation of biological nitrogen by nodule bacteria. **The purpose** of the study is to identify the optimal and critical levels of natural and technogenic salinity chemistry that affect the vital activity of nodule bacteria in sweet clover and alfalfa in saline nutrient media. **Methods.** The studies were conducted in model laboratory experiments, where the chemisms and degree of salinity were formed according to neutral, sulfate-soda, and chloride-sulfate with gypsum. The degree of salinity of the bean agar was created from an unsalinated level to a salt marsh. For each variant, the number of colonies was counted and cultural characteristics were determined. **Scientific novelty.** For the first time, the parameters of nodule bacteria's vital activity in saline nutrient media, which are characteristic in terms of chemistry and degree of salinity for the saline soils of Western Siberia, have been determined. The influence of the reclamation agent-coagulant on the activity of rhizobia has been established. **Results.** Model experiments have shown that nodule bacteria have an acute need for calcium in conditions of natural and man-made salinization with neutral and sulfate-soda chemistry, which reduces the indicators (LD_{50} and LD_{99}) for rhizobia. The application of gypsum as a reclamation agent on saline soils and drilling sludge allows to eliminate the calcium deficiency in the conditions of salinization, to reduce the salinity and toxicity for legume crops-phytomeliors, and also to improve the physical properties of these objects, in particular, water permeability, porosity, aeration, structure and other indicators. The specified reclamation technique should be mandatory both for the reclamation of saline soils and for sludge ambar.

For citation: Skipin L. N., Zakharova E. V., Tarasova S. S., Evtushkova E. P. The reaction of nodule bacteria to the salinization conditions of soils and drilling mud. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 278–288. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-278-288>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.03.2025, **date of review:** 13.07.2025, **date of acceptance:** 10.10.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Сложности рекультивации засоленных почв и буровых шламов вызваны крайне отрицательными их свойствами, а также климатическими условиями. Большое значение имеет использование на биологическом этапе рекультивации перспективных компонентов в составе травосмеси [1]. Наиболее перспективны в этом отношении травы из семейства бобовых, к которым относятся люцерна посевная и донник желтый. Они достаточно морозостойчивы и солеустойчивы, при этом способны усваивать биологический азот за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями. Это приводит к снижению энергозатрат до 35 %. Засоленные почвы и буровые шламы обладают разным химизмом и степенью засоления. В настоящее время параметры жизнедеятельности клубеньковых бактерий в засоленных средах очень мало изучены. Не выявлена сравнительная реакция клубеньковых бактерий на нейтральный, сульфатно-содовый и хлоридно-сульфатный с гипсом химизмы засоления, не установлены оптимальные режимы засоления, половинная (CD_{50}) и полная их гибель (CD_{99}) [2; 3].

Не установлены также параметры pH среды, осмотического давления и токсичности ионов, соответствующих CD_{50} и CD_{99} . Рабочая гипотеза предполагает установление указанных параметров для повышения активности симбиоза с использованием наиболее солеустойчивых штаммов клубеньковых бактерий культур-фитомелиорантов. На средах с полной гибелью ризобий должны быть предусмотрены нейтрализация и рассоление с применением коагулянтов-мелиорантов [4; 5].

При показателе CD_{50} восстановление численности штаммов клубеньковых бактерий можно увеличить обработкой семян культур-фитомелиорантов ризоторфином с повышенным титром. При полной гибели ризобий буровые шламы и солонцовые почвы подлежат обязательной химической мелиорации. В качестве мелиоранта могут использоваться гипс, фосфогипс, карналит, сернокислое железо и алюминий [6; 7].

В процессе производства одной тонны азотных удобрений необходимо на предприятии израсходовать тонну горючего. Применение азотных удобрений в процессе фитомелиорации при освоении

и рекультивации буровых шламов и территорий засоленных почв является обязательным условием. Участие бобовых растений способно вступать в симбиоз с клубеньковыми бактериями и решать данную проблему.

Бобовые культуры-фитомелиораторы способны обеспечивать себя азотом и накапливать его в почве в форме экологически безопасных соединений. Внесение в качестве удобрения ризоторфина способствует как снижению загрязнения окружающей среды, так и экономии материальных ресурсов предприятия.

Использование на засоленных почвах многолетних бобовых трав является весьма актуальным для территорий Западной Сибири, где почвы наименее обеспечены азотом. Такую технологию можно использовать при проведении рекультивации буровых шламов и солонцов [10; 11].

Недостаток азотного питания на исследуемых почвах связан с отсутствием азотобактера и очень низкой концентрацией нитрифицирующих бактерий в верхних слоях почвы. При этом в солонцовых и подсолонцовых горизонтах нитрификаторы способны практически полностью отсутствовать. Учитывая данные особенности, ряд ученых отдает предпочтение в решении данного вопроса клубеньковым бактериям [12].

В современных условиях жизнедеятельность ризобий в условиях засоления очень мало изучена в сравнении с другими группами микроорганизмов. В настоящее время факторы среды, определяющие активность симбиоза, изучены в большей степени для условий зональных почв. При этом огромные площади сенокосов и пастбищ на солонцах требуют своевременного залужения с максимальным насыщением в травосмеси бобовыми солеустойчивыми и солонцеустойчивыми компонентами. Важно отметить, что в условиях Западной Сибири увеличиваются площади буровых амбаров, которые также требуют обязательной рекультивации с использованием культур-фитомелиорантов [13; 14].

На необходимость проведения работ по повышению активности биологической азотфиксации направлены труды ряда современных ученых [7; 11; 12; 14].

Методология и методы исследования (Methods)

Изучение жизнедеятельности клубеньковых бактерий при воздействии на них разных по качественному и количественному составу солей проводилось в лабораторных условиях с использованием питательных сред в чашках Петри. Исходный материал клубеньковых бактерий донника и люцерны использовался из ризоторфина (штаммы 282 и 4236) с последующим пятикратным разведением до одинакового титра по каждой культуре. Питательная смесь представлена бобовым агаром, который готовится в следующей последовательности: навеска

гороха 50 г заливается водопроводной водой в объеме 1 л с последующим добавлением навески сахарозы (10 г), 20 г агара и 0,5 г K_2PO_4 . К исходной питательной смеси добавляются легкорастворимые соли (Na_2SO_4 , NaCl, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $MgSO_4$) в соответствующих грациях согласно схеме опытов. Приготовленные среды с учетом каждого химизма стерилизуют в автоклаве при 120 °С. Посев клубеньковых бактерий проводился в чашках Петри на агаровой питательной среде с последующей выдержкой ее в термостате. В случае появления колоний на питательной среде проводится их дальнейший подсчет с описанием культуральных особенностей.

В питательной смеси на бобовом агаре нами создавались модельные варианты согласно химизму и концентрации солей. Численность появившихся колоний на вариантах с разным количественным и качественным составом солей, характерных для засоленных почв и буровых шламов, позволила установить ограничивающие факторы жизнестойкости клубеньковых бактерий люцерны и донника. Результаты исследований обрабатывались методом пробит- и корреляционного анализа.

Результаты (Results)

Установлено, что солонцы нейтрального сульфатно-хлоридного типа засоления характерны для условий южной лесостепи Западной Сибири [15]. Создание модельных вариантов данного химизма с разной концентрацией солей бобового агара в чашках Петри показало, что полная гибель (CD_{99}) клубеньковых бактерий донника и люцерны здесь проявлялась при концентрации солей близкой к 1,4 %, а половинная гибель (CD_{50}) ризобий данных культур отмечалась на рис. 1 в пределах 0,6–0,9 %.

Реакция среды при показателе (CD_{99}) соответствовала $pH = 9,0$, а при (CD_{50}) она находилась в пределах 7,0–8,1. Величина осмотического давления при заданных уровнях полной и половинной гибели ризобий составила 9,4 и 4,0–5,4 атм соответственно.

Так как различные ионы обладают разной степенью токсичности, суммарный эффект токсичных ионов рекомендуется выражать в эквивалентах хлора. При этом эквивалент Cl принимается за единицу, а эквивалент SO_4 соответствует 5–6. В наших исследованиях по отношению к клубеньковым бактериям токсичность Cl в сравнении с сульфатно-хлоридным засолением была ниже, при этом данный эквивалент можно представить как 1 : 1,4. Полученный результат свидетельствует об ослаблении токсичности сульфатов в составе сульфатно-хлоридного засоления.

Исследование реакции клубеньковых бактерий на степень засоления данного химизма показало, что она была отрицательной. При этом коэффициент корреляции для люцерны и донника соста-

вил $-0,95$ и $-0,98$ соответственно. Коэффициент детерминации (R^2) указывает, что жизнедеятельность клубеньковых бактерий данных культур на 91–98 % зависит от концентрации солевого состава. Величина этого показателя свидетельствует о модели хорошего качества.

Основные площади солонцов сульфатно-содового засоления приурочены к территории северной лесостепи Западной Сибири. Наличие соды в составе солей придает данным почвам щелочности и усиливает отрицательные химические, а также физические свойства. Это явление крайне неблагоприятно сказывается на жизнедеятельности клубеньковых бактерий.

Исследования показали, что полная гибель ($СД_{99}$) ризобий люцерны и донника в солевых средах с бобовым агаром наступала при концентрации $0,5-0,8$ % (рис. 2). Этому уровню засоления соответствует $pH = 9,4...9,6$, осмотическое давление здесь варьирует в пределах $2,3-4,5$ атм.

Сравнение токсического уровня засоления при нейтральном и сульфатно-содовом химизме свидетельствует о том, что присутствие соды определяет высокий уровень pH при относительно низком осмотическом давлении (в 2 раза ниже, чем при нейтральном химизме).

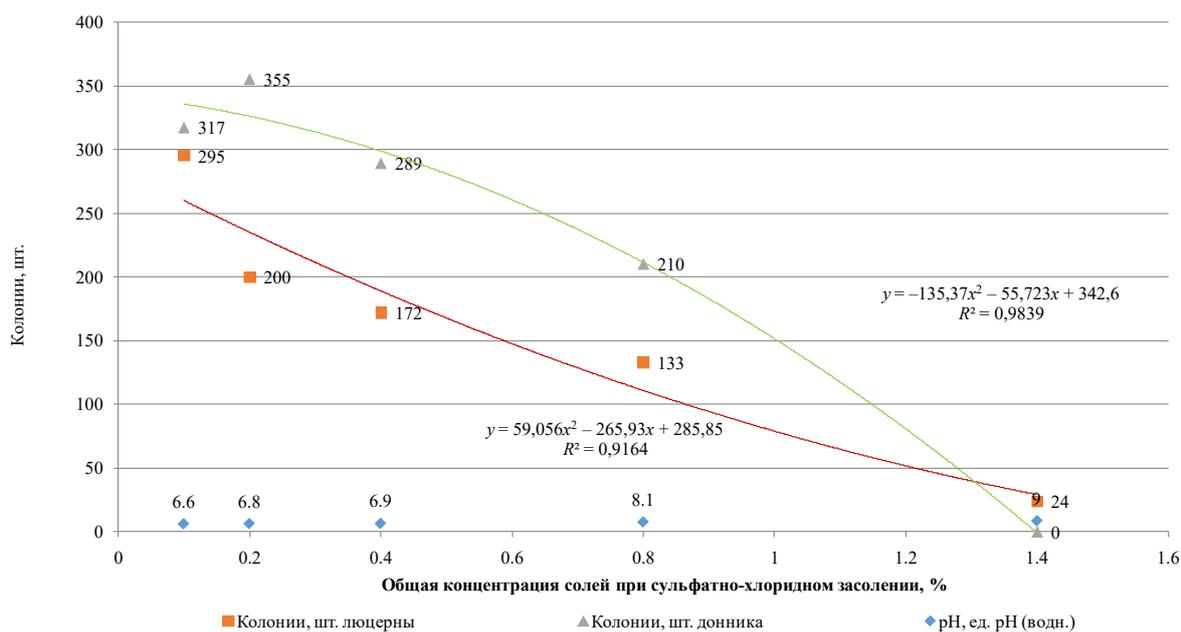


Рис. 1. Реакция клубеньковых бактерий донника и люцерны на сульфатно-хлоридный химизм засоления

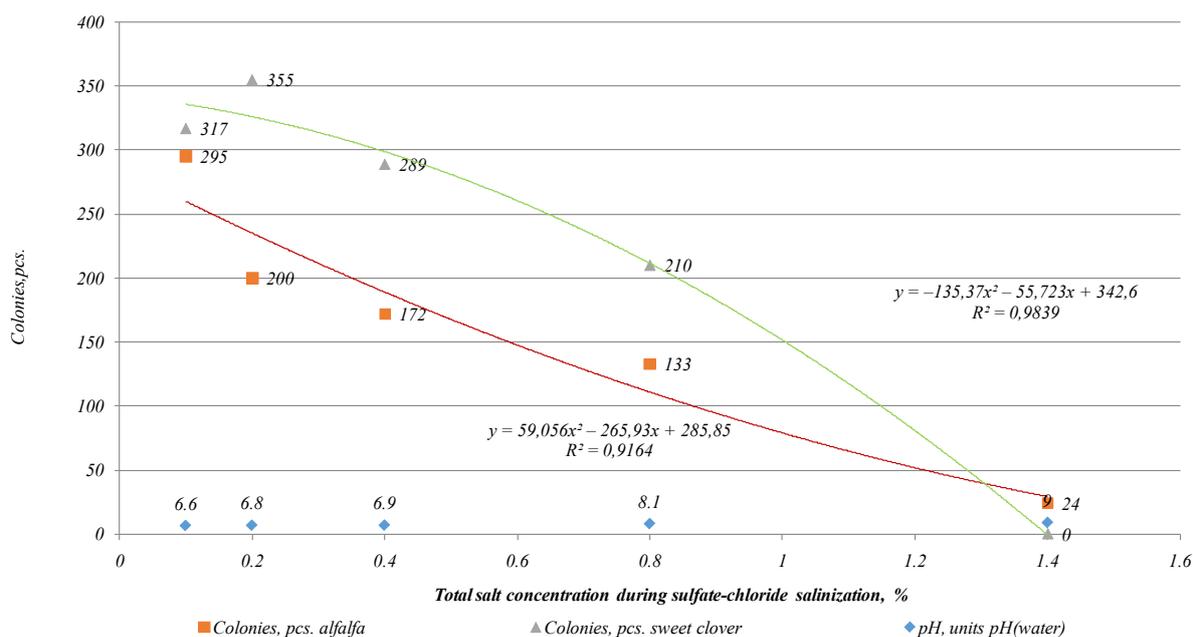


Fig. 1. Reaction of nodule bacteria of sweet clover and alfalfa to sulfate-chloride chemistry of salinization

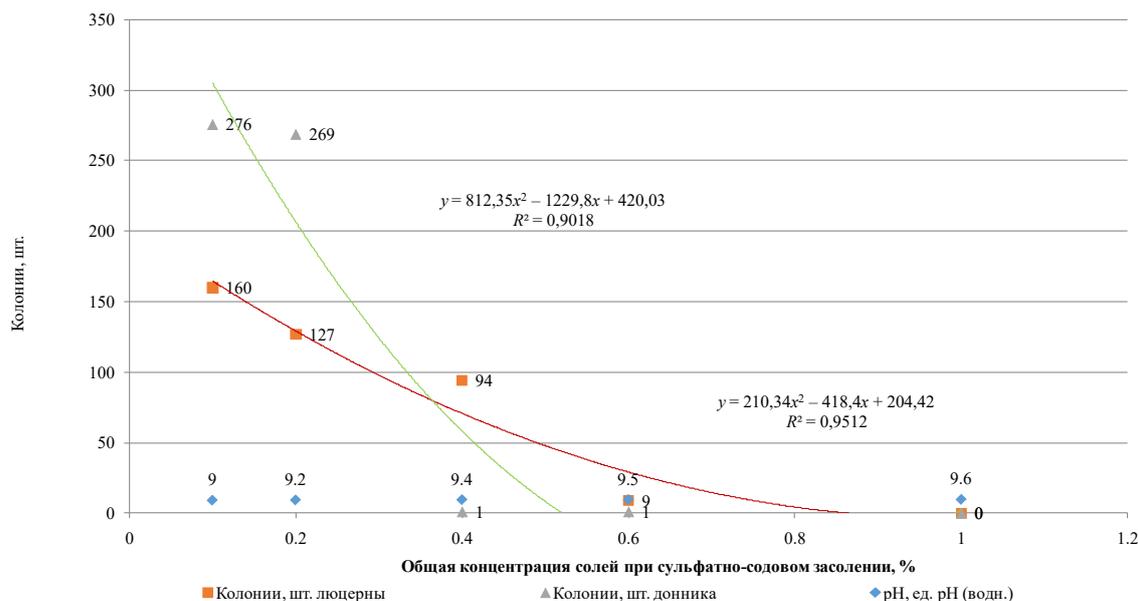


Рис. 2. Влияние сульфатно-содового засоления на численность клубеньковых бактерий донника и люцерны

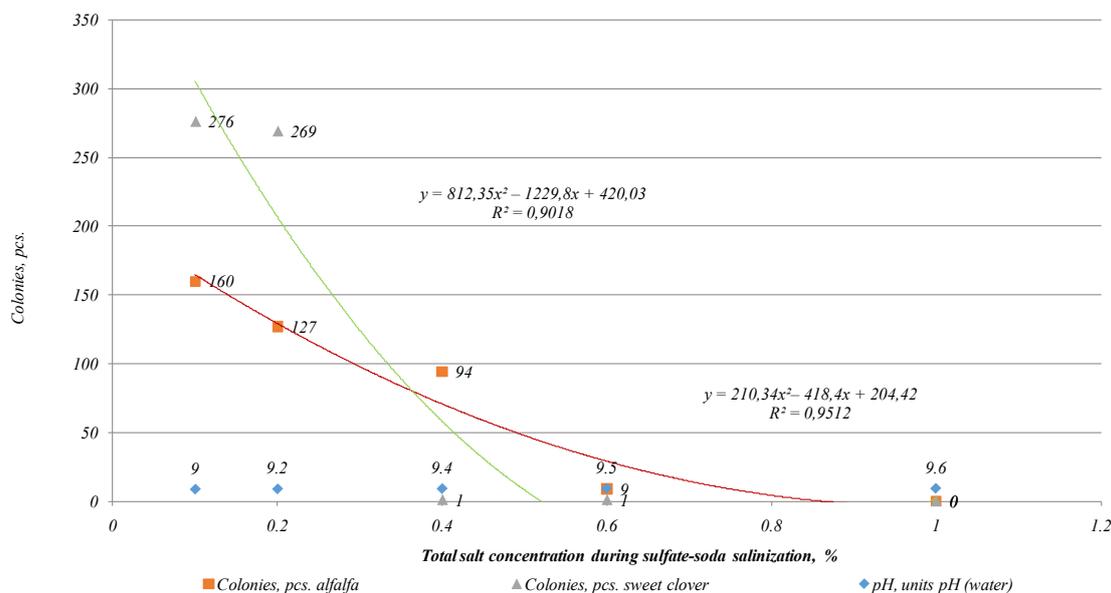


Fig. 2. Effect of sulfate-soda salinization on the abundance of nodule bacteria of sweet clover and alfalfa

Для корковых луговых солонцов сульфатно-содового засоления указанная щелочность является характерной особенностью. При таких условиях не следует ожидать активного симбиоза – напротив, здесь проявляется полное отсутствие ризобий. В естественных условиях на таких солонцах бобовый компонент в составе травостоя полностью отсутствует [16–18].

Половинная гибель (CD_{50}) колоний клубеньковых бактерий донника и люцерны на засоленных средах с участием соды наступает при 0,3–0,4 %. Этой степени сульфатно-содового засоления соответствуют $pH = 9,3$ и осмотическое давление близкое к 1,7 атм. Данный уровень засоления сохраняет высокую щелочность, при близком уровне залегания грунтовых вод этот показатель может посто-

янно усиливаться в течение летнего периода. Принимая за единицу эквивалент токсичности хлора, соотношение его к сульфатно-содовому засолению следует представить как 1 : 0,3. Оно свидетельствует о том, что полная гибель колоний клубеньковых бактерий при сульфатно-содовом засолении наступает при концентрации в 3 раза меньшей, чем при хлоридном химизме.

Степень влияния концентрации солей сульфатно-содового засоления на численность колоний ризобий сильная ($R = -0,8...-0,9$) и близкая к функциональной. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,90...0,95$) показывает, что жизнедеятельность клубеньковых бактерий на 90–95 % зависит от данного химизма и степени засоления. Значение R^2 указывает на модель хорошего качества.

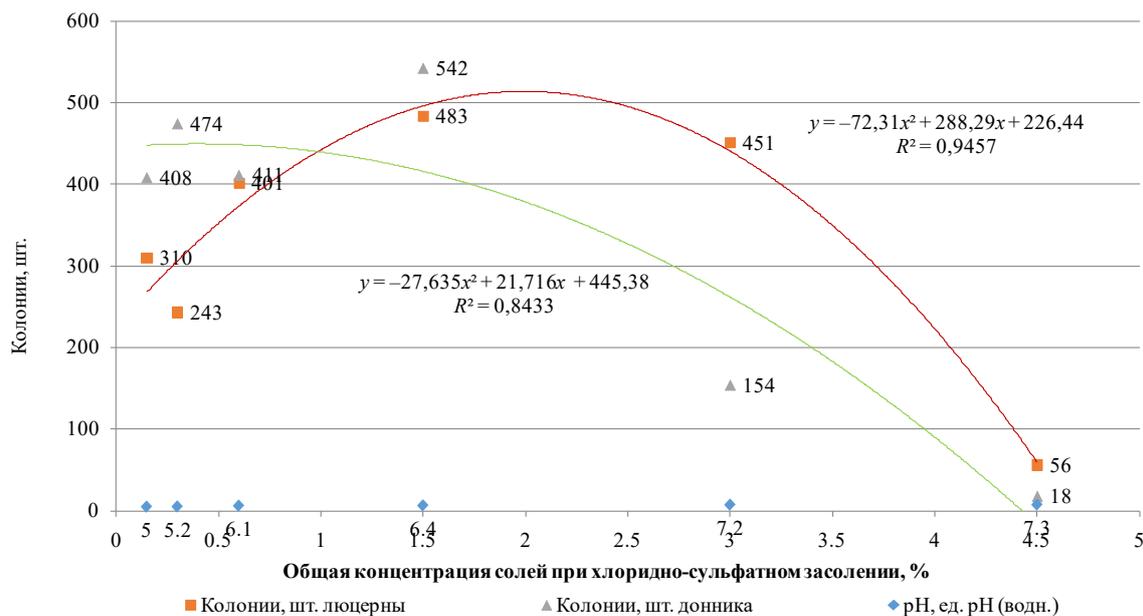


Рис. 3. Влияние хлоридно-сульфатного засоления на жизнедеятельность колоний клубеньковых бактерий донника и люцерны

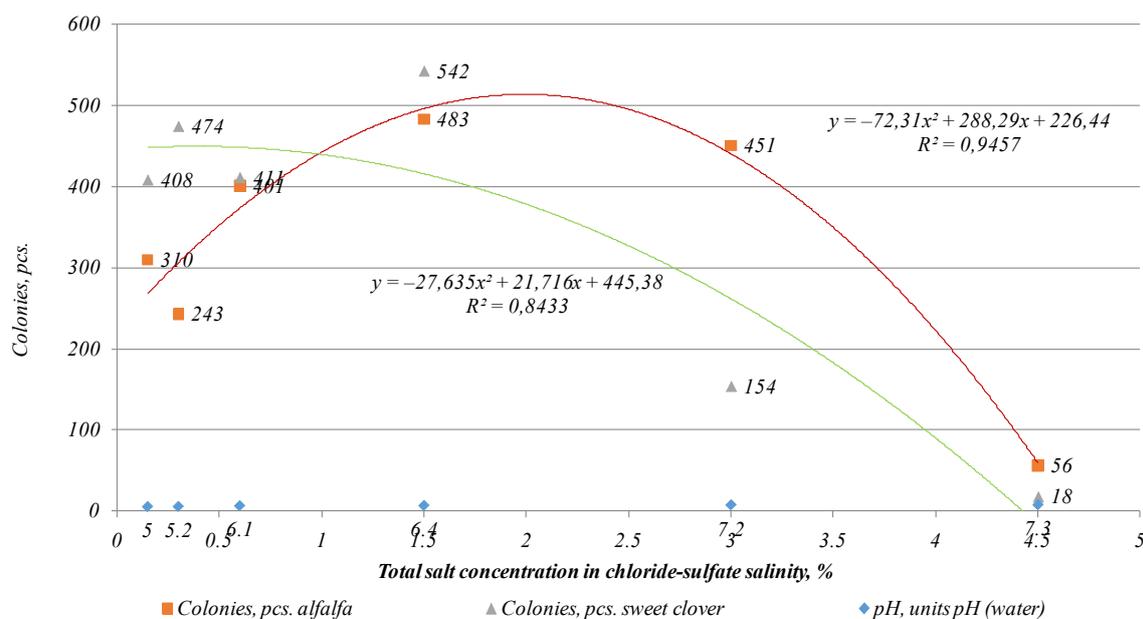


Fig. 3. The effect of chloride-sulfate salinization on the vital activity of colonies of nodule bacteria of sweet clover and alfalfa

Присутствие гипса в составе легкорастворимых солей на солонцовых почвах Западной Сибири практически исключено, это явление характерно и для буровых шламов. Хлоридно-сульфатное засоление с гипсом, как правило, является результатом химической мелиорации, где в качестве мелиоранта используется природный гипс или фосфогипс – отход химического производства фосфорной кислоты или фосфорных удобрений.

Посев клубеньковых бактерий донника и люцерны на питательные смеси бобового агара с разной концентрацией солей данного химизма (рис. 3) показал, что полная гибель колоний наступала при концентрации 4,5–4,7 %.

Такому критическому уровню соответствует $pH = 7,3$ и осмотическое давление 24,8 атм. Из этого следует, что основной причиной гибели колоний ризобий является не реакция среды, а высокое осмотическое давление. При сравнении с критическими природными уровнями и химизмами засоления видно, что присутствие кальция гипса даже в небольших количествах позволяет снизить токсичность состава солей в 5,6–9,4 раза относительно сульфатно-содового засоления и в 3,2–3,4 раза в сравнении с сульфатно-хлоридным (нейтральным) типом засоления. Это свидетельствует о необходимости обязательного гипсования при использовании бобового компонента в качестве культур-фи-

томелиорантов, особенно на солонцах с участием соды в составе солей. Важно отметить, что каустическая или кальцинированная сода является обязательным компонентом в составе бурового раствора, ее присутствие облегчает процесс бурения. Проведенные опыты показывают, что концентрация солей до 2 % при наличии гипса может быть оптимальной для жизнедеятельности клубеньковых бактерий данных культур.

Показатель концентрации половинной гибели (CD_{50}) колоний клубеньковых бактерий донника и люцерны при хлоридно-сульфатном с гипсом засолении соответствовал уровню 3,3–3,8 %. Реакция питательной среды бобового агара соответствовала 7,2–7,3, а осмотическое давление – 16,5–20,7 атм. Это свидетельствует о том, что переход от показателя CD_{50} до CD_{99} происходит при незначительном увеличении концентрации солей при всех химизмах засоления. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,84$ и $0,94$) характеризует модель хорошего качества.

Соотношение токсичности эквивалента хлора, принятого за единицу, по отношению к хлоридно-сульфатному с гипсом засолению будет 1 : 3. Это еще раз характеризует, что участие гипса в составе легкорастворимых солей сильно ослабляет их вредоносность по отношению к клубеньковым бактериям.

Знание критических уровней засоления для клубеньковых бактерий послужило основой для выявления наиболее солеустойчивых штаммов применительно к бобовым травам донника желтого и люцерны синегибридной. Питательные среды на бобовом агаре по каждому типу химизма засоления доводились до критического уровня. В качестве испытуемых вариантов использовались три штамма клубеньковых бактерий донника и шесть штаммов люцерны.

Таблица 1
Влияние вариантов рекультивации бурового шлама на урожай зеленой массы донника желтого и люцерны синегибридной, г/сосуд

№ п/п	Варианты	Донник желтый		Люцерна синегибридная	
		Среднее за 2 года	± к контролю	Среднее за 2 года	± к контролю
1	БШ (контроль)	73,11	–	95,18	–
2	БШ + ризоторфин	87,12	+14,02	165,65	+70,46
3	БШ + ризоторфин + нефтеструктор	89,60	+16,50	188,43	+93,24
4	БШ + фосфогипс	130,22	+57,12	201,20	+106,01
5	БШ + фосфогипс + ризоторфин	162,12	+89,02	229,05	+133,86
6	БШ + фосфогипс + ризоторфин + нефтеструктор	203,46	+130,36	232,56	+137,87
7	БШ + фосфогипс + ризоторфин + нефтеструктор + торф	224,53	+151,43	249,27	+154,08
8	БШ + ризоторфин + нефтеструктор + торф	103,67	+30,57	189,69	+94,49
	HCP_{05}		6,7		7,1

Table 1
Effect of drilling mud reclamation options on the yield of green mass of yellow sweet clover and blue hybrid alfalfa, g/vessel

No.	Variants	Sweet clover yellow		Alfalfa blue hybrid	
		Average for 2 years	± to control	Average for 2 years	± to control
1	BS (control)	73.11	–	95.18	–
2	BS + risotorphin	87.12	+14.02	165.65	+70.46
3	BS + rizotorphin + petrodestructor	89.60	+16.50	188.43	+93.24
4	BS + phosphogypsum	130.22	+57.12	201.20	+106.01
5	BS + phosphogypsum + rhizotorphin	162.12	+89.02	229.05	+133.86
6	BS + phosphogypsum + rhizotorphin + petrodestructor	203.46	+130.36	232.56	+137.87
7	BS + phosphogypsum + rhizotorphin + petrodestructor + peat	224.53	+151.43	249.27	+154.08
8	BS + rizotorphin + petrodestructor + peat	103.67	+30.57	189.69	+94.49
	LSD_{05}		6.7		7.1

Наблюдение за численностью колоний ризобий на предельно засоленных средах показали, что самая высокая численность их в чашках Петри была у штамма под номером 282. Эта закономерность проявлялась по всем критическим химизмам засоления. Существенное преобладание колоний данного штамма на засоленных питательных средах в сравнении с другими штаммами (291 и 292) указывает на относительно высокую его солевыносливость. На некоторых критических по засолённости питательных средах у представленных штаммов колонии не появлялись или по культуральным признакам они были очень мелкими. Это дает основание утверждать, что в полевых условиях штаммы 291 и 292 будут проявлять слабую азотфиксирующую активность. Данное явление усиливается наложением на отрицательные химические свойства ряда физических показателей (бесструктурность, низкая аэрация, высокая дисперсность, плотность и влажность устойчивого завядания). Следует предполагать, что штамм 282 в данных условиях будет обладать большей экологической адаптивностью.

Изучение шести штаммов клубеньковых бактерий люцерны на критически засоленных питательных средах, представленных бобовым агаром, показало, что наибольшей солеустойчивостью здесь характеризовался штамм 423б. Все другие опытные штаммы чаще всего находились в состоянии полного плазмолиза (колонии не появлялись) или размер их был очень мелкий в отличие от контрольных вариантов на незасоленных средах. Аналогичные результаты были получены и в микровегетационных опытах. Здесь растения донника и люцерны выращивались на критически засоленном бобовом агаре в пробирках, при этом проростки семян донника и люцерны инокулировались разными штаммами ризобий. Наибольшей устойчивостью к засолению характеризовались растения донника и люцерны, обработанные штаммами 282 и 423б соответственно.

Проведенные исследования по выявлению критической концентрации солей по разным химизмам позволили тестировать штаммы клубеньковых бактерий в лабораторных и микровегетационных опытах к условиям засоления.

Изучение эффективности действия инокуляции клубеньковыми бактериями семян донника и люцерны на буровом шламе сульфатно-содового засоления проводилось в вегетационно-полевом опыте в сосудах Митчерлиха (таблица 1).

Результаты вегетационно-полевого опыта свидетельствуют о том, что применение ризоторфина на культуре донника желтого без внесения фосфогипса обеспечивало слабое проявление фитомелиоративного процесса. Так, продуктивность зеленой массы этой культуры составила на контроле 73,1 г/сосуд, а на варианте с обработкой семян ризоторфином – 87,1 г/сосуд.

Сочетание ризоторфина с нефтеструктуратором способствовало низкой результативности (89,6 г/сосуд), это указывает на слабую активность нефтеструктуратора в условиях засоления исходного объекта при наличии ряда отрицательных водно-физических свойств. Использование мелиоранта фосфогипса коренным образом улучшает химические и физические свойства бурового шлама, что привело к увеличению урожайности зеленой массы донника желтого в 1,7 раза в сравнении с контролем. Сочетание фосфогипса с ризоторфином обеспечивало увеличение урожайности в сравнении с исходным состоянием в 2,2 раза. Данное явление подтверждается результатами исследований лабораторных опытов.

Варианты опыта закладывались с учетом действия каждого фактора в отдельности (ризоторфин, нефтеструктуратор, фосфогипс) и в комплексе. Исследования показали высокую результативность совместного действия всех факторов на культурах донника желтого и люцерны синегибридной. Прибавка урожая зеленой массы донника желтого составила здесь 130,36 г/сосуд при 73,11 г/сосуд на контроле, аналогичная закономерность проявлялась на культуре люцерны синегибридной. Добавление торфа к указанному варианту усиливало мелиоративный эффект при рекультивации буровых шламов.

Проведенные исследования показывают, что более 2500 буровых амбаров в ХМАО и такое же их количество в ЯНАО могут быть рекультивированы с использованием комплексных методов рекультивации. Количество буровых амбаров увеличивается при разработке нефтяных месторождений на юге Тюменской области (Уватский район).

На юге Тюменской области только из пашни выделено более 500 тыс. га. Указанные площади могут быть компенсированы за счет мелиоративного фонда, представленного солонцовыми почвами. Освоение залежных почв, где в результате ряда успешных сформировались экосистемы, представленные лесными массивами, требует еще больших затрат, чем на мелиоративное освоение солонцов. Химическая мелиорация солонцов позволит утилизировать большие объемы фосфогипса, которые находятся в отвалах промышленных предприятий Урала.

Следует отметить, что осушение заболоченных земель и последующее их содержание с учетом проведения всех культурно-технических мероприятий также потребует больших капитальных затрат. Гипсованные солонцы могут использоваться как в кормовых севооборотах, так и в полевых с участием бобовых компонентов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, модельные опыты с использованием питательных засоленных сред на бобовом агаре позволили установить, что полная гибель (СД₉₉)

при хлоридно-сульфатном засолении для клубеньковых бактерий наступала при концентрации 4,5–4,7 %, осмотическое давление при этом составило 24,8 атм, рН = 7,3. Внесение гипса позволило снизить токсичность природных и техногенных засоленных в 5,6–9,4 раза относительно сульфатно-содового и в 3,2–4 раза сульфатно-хлоридного состава солей.

Исследования показали, что рекультивация засоленных почв и буровых шламов с использованием бобовых культур фитомелиорантов требует обязательного использования гипса как мелиоранта и источника кальция для активации клубеньковых бактерий. При сравнении воздействия эквивалента иона хлора, принятого за единицу токсичности, установлено, что сульфатно-содовое засоление в

0,3 раза ниже по токсическому действию, а сульфатно-хлоридное и хлоридно-сульфатное выше в 1,4 и 3 раза соответственно. Наибольшую токсичность в составе солей вносила сода при сульфатно-содовом засолении почв. При сульфатно-содовом засолении явление токсичности проявляется за счет повышенной щелочности, а при нейтральном – за счет высокого осмотического давления и токсичности ионов солей.

Представленные исследования указывают на необходимость активного освоения солонцовых почв, особенно ряда южных административных районов, где их площади составляют 40–50 %. Активной рекультивации требуют и буровые амбары в районах добычи углеводородов.

Библиографический список

1. Гаевая Е. В., Боровская А. С. Особенности биологической рекультивации нарушенных земель // Антропогенная трансформация геопространства: меняющийся мир – штрихи к портрету: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Волгоград, 2024. С. 265–268.
2. Скипин Л. Н., Дюкова Н. Н., Логинов Ю. П. Численность клубеньковых бактерий люцерны при различной степени засоления питательной среды // АгроЭкоИнфо. 2022. № 6 (54). DOI: 10.51419/202126627.
3. Гутрова Т. О., Дюкова Н. Н. Изучение симбиоза бобовых растений и клубеньковых бактерий // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сборник трудов LVII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 2023. С. 29–35.
4. Скипин Л. Н., Захарова Е. В., Дюкова Н. Н. Влияние основных типов химизма степени засоления почв и техногенных грунтов на всхожесть семян фитомелиорантов // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 7. С. 46–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-46-56.
5. Laktionov Yu. V. Comparison of resistance of soybean nodule bacteria strains to pesticide and osmotic stresses // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference “Environmental Problems of Food Security”. 2022. Vol. 1043. Article number 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1043/1/012030.
6. Скипин Л. Н., Дюкова Н. Н. Сравнительное испытание штаммов клубеньковых бактерий люцерны на солонцовых почвах Западной Сибири // Проблемы агроэкологии АПК Сибири: сборник трудов Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 50-летию научной деятельности доктора сельскохозяйственных наук, профессора А. С. Моторина и 25-летию кафедры экологии и рационального природопользования. Тюмень, 2023. С. 58–64.
7. Семендяева Н. В., Морозова А. А., Елизаров Н. В. Умеренно опасные микроэлементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52, № 1. С. 5–15. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-1-1.
8. Семендяева Н. В., Морозова А. А., Добротворская Н. И. [и др.] Микроэлементы первого класса опасности в почвах засоленных агроландшафтов северо-восточной части Барабинской равнины // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 1 (35). С. 56–65. DOI: 10.31677/2311-0651-2022-35-1-56-65.
9. Elizarov N. V. Salinization and solonchization of soils in river valleys of the Kulunda plain // Eurasian Soil Science. 2023. Vol. 56, No. 10. Pp. 1381–1393. DOI: 10.1134/s1064229323601439.
10. Зимнухова А. Е., Гаевая Е. В., Тарасова С. С. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации в условиях Западной Сибири // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2023. № 3 (63). С. 90–100. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/08.
11. Боровская А. С., Гаевая Е. В. Исследование микробиологических свойств нефтезагрязненных торфяно-болотных почв при применении нефтеструктуров // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие^ сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. Новокузнецк, 2024. С. 7–12.
12. Lyubimova I. N. Possible changes in soils of the dry steppe zone under the global climate change // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55, No. 10. Pp. 1482–1489. DOI: 10.1134/s1064229322100118.

13. Гаевая Е. В., Рудакова Л. В. Исследование закономерностей изменения солевого состава буровых шламов в процессе их утилизации // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 125–134. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-125-134.

14. Дюкова Н. Н., Харалгин А. С. Приемы возделывания люцерны изменчивой в лесостепи Западной Сибири // Агропродовольственная политика России. 2024. № 2-3 (110). С. 63–69. DOI: 10.35524/2227-0280_2024_02-03_63.

15. Дюкова Н. Н., Харалгин А. С., Рыжук Н. В. [и др.] Элементы технологии возделывания люцерны изменчивой (*Medicago varia* L.) в адаптивном земледелии Западной Сибири // Селекция и технологии производства экологически безопасной продукции растениеводства в условиях меняющегося климата: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием посвящённая 80-летию со дня рождения заслуженного агронома РФ профессора, доктора сельскохозяйственных наук Ю. П. Логинова. Тюмень, 2022. С. 232–240.

16. Гаевая Е. В. Влияние мелиорантов на изменение водно-физических свойств бурового шлама // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 9-й Международной научно-практической конференции. Донецк, 2023. С. 35–38.

17. Puhalsky Ya. V. Impact of heavy metals on changes in the biochemical profile of pea root exometabolites // Russian Agricultural Sciences. 2023. Vol. 49, No. 2. Pp. 189–201. DOI: 10.3103/s106836742302009x.

18. Shaposhnikov A. I. The relationship between the composition of root exudates and the efficiency of interaction of wheat plants with microorganisms // Applied Biochemistry and Microbiology. 2023. Vol. 59, No. 3. Pp. 330–343. DOI: 10.1134/s000368382303016x.

Об авторах:

Леонид Николаевич Скипин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия;

ORCID 0000-0001-5778-9872, AuthorID 436872. E-mail: skipinln@tyuiu.ru

Елена Викторовна Захарова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0001-5874-2726, AuthorID 822843. E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Светлана Сергеевна Тарасова, кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-5684-2819, AuthorID 933439. E-mail: tarasovass@tyuiu.ru

Елена Павловна Евтушкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой землеустройства и кадастров, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-7352-0248, AuthorID 67200634. E-mail: evtushkovaep@gausz.ru

References

1. Gaevaya E. V., Borovskaya A. S. Features of biological reclamation of disturbed lands. *Anthropogenic transformation of geospatial: the changing world – the strokes to the portrait: materials of the VI All-Russian scientific and practical conference*. Volgograd, 2024. Pp. 265–268. (In Russ.)

2. Skipin L. N., Dyukova N. N., Loginov Yu. P. The number of nodule bacteria of alfalfa at various degrees of salinity of the nutrient medium. *AgroEcoInfo*. 2022; 6 (54). DOI: 10.51419/202126627. (In Russ.)

3. Gutrova T. O., Dyukova N. N. Study of symbiosis of leguminous plants and nodule bacteria. *Achievements of youth science for the agro-industrial complex. Proceedings of the LVII scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists*. Tyumen, 2023. Pp. 29–35. (In Russ.)

4. Skipin L. N., Zakharova E. V., Dyukova N. N. The influence of the main types of chemistry of the degree of salinity of soils and man-made soils on the germination of phytomeliorent seeds. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (07): 46–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-46-56. (In Russ.)

5. Laktionov Yu. V. Comparison of resistance of soybean nodule bacteria strains to pesticide and osmotic stresses. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference “Environmental Problems of Food Security”*. 2022; 1043: 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1043/1/012030.

6. Skipin L. N., Dyukova N. N. Comparative testing of alfalfa nodule bacteria strains on saline soils of Western Siberia. *Problems of agroecology of the agroindustrial complex of Siberia: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 50th anniversary of the scientific activity of doctor of agricultural sciences, professor A. S. Motorin and the 25th anniversary of the department of ecology and rational use of natural resources*. Tyumen, 2023. Pp. 58–64. (In Russ.)

7. Semendyaeva N. V., Morozova A. A., Elizarov N. V. Moderately dangerous trace elements in the soils of saline agricultural landscapes of the Barabinsk plain. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2022; 52 (1): 5–15. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-1-1. (In Russ.)
8. Semendyaeva N. V., Morozova A. A., Dobrotvorskaya N. I., et al. Microelements of the first hazard class in soils of saline agricultural landscapes of the northeastern part of the Barabinsk plain. *Innovations and food safety*. 2022; 1 (35): 56–65. DOI: 10.31677/2311-0651-2022-35-1-56-65. (In Russ.)
9. Elizarov N. V. Salinization and solonetzization of soils in river valleys of the kulunda plain. *Eurasian Soil Science*. 2023; 56 (10): 1381–1393. DOI: 10.1134/s1064229323601439.
10. Zimmukhova A. E., Gayeva E. V., Tarasova S. S. Ecological assessment of drilling slurries and development of a method for their bioremediation in Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2023; 3 (63): 90–100. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/08. (In Russ.)
11. Borovskaya A. S., Gaevaya E. V. Investigation of the microbiological properties of oil-contaminated peat-bog soils when using oil destructors. *Recultivation of disturbed lands: technologies, efficiency and biodiversity: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference*. Novokuznetsk, 2024. Pp. 7–12. (In Russ.)
12. Lyubimova I. N. Possible changes in soils of the dry steppe zone under the global climate change. *Eurasian Soil Science*. 2022; 55 (10): 1482–1489. DOI: 10.1134/s1064229322100118.
13. Gaevaya E. V., Rudakova L. V. Investigation of patterns of changes in the salt composition of drilling mud during their disposal. *Theoretical and Applied Ecology*. 2024; 2: 125–134. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-125-134. (In Russ.)
14. Dyukova N. N., Kharalgin A. S. Methods of cultivation of alfalfa in the forest-steppe of Western Siberia. *Agro-Food Policy of Russia*. 2024; 2-3 (110): 63–69. DOI: 10.35524/2227-0280_2024_02-03_63. (In Russ.)
15. Dyukova N. N., Kharalgin A. S., Ryzhuk N. V., et al. Elements of alfalfa cultivation technology (*Medicago varia* L.) in adaptive agriculture in Western Siberia. *Breeding and production technologies of environmentally safe crop production in a changing climate: collection of materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of the birth of the Honored agronomist of the Russian Federation, professor, doctor of agricultural sciences Yu. P. Loginov*. Tyumen, 2022. Pp. 232–240. (In Russ.)
16. Gaevaya E. V. The influence of meliorants on changes in the water-physical properties of drilling mud. *Innovative perspectives of Donbass: proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference*. Donetsk, 2023. Pp. 35–38. (In Russ.)
17. Puhalsky Ya. V. Impact of heavy metals on changes in the biochemical profile of pea root exometabolites. *Russian Agricultural Sciences*. 2023; 49 (2): 189–201. DOI: 10.3103/s106836742302009x.
18. Shaposhnikov A. I. The relationship between the composition of root exudates and the efficiency of interaction of wheat plants with microorganisms. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2023; 59 (3): 330–343. DOI: 10.1134/s000368382303016x.

Authors' information:

Leonid N. Skipin, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of technosphere safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-5778-9872, AuthorID 436872.

E-mail: skipinln@tyuiu.ru

Elena V. Zakharova, candidate of biological sciences, associate professor, associate professor of the department of technosphere safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-5874-2726, AuthorID 822843. *E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru*

Svetlana S. Tarasova, candidate of biological sciences, associate professor of the department of technosphere safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-5684-2819, AuthorID 933439.

E-mail: tarasovass@tyuiu.ru

Elena P. Evtushkova, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of land management and cadastres, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-7352-0248, AuthorID 67200634. *E-mail: evtushkovaep@gausz.ru*