

Научная статья
УДК 631.6:581.6

ПОЧВОУЛУЧШАЮЩАЯ РОЛЬ СООБЩЕСТВ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ ФИТОМЕЛИОРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАЗРАБОТОК МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИЁМОМ ЗАЛУЖЕНИЯ

¹Светлана Николаевна Поцепай, ²Лидия Николаевна Анищенко, ¹Михаил Васильевич Семьшев, ¹Павел Петрович Атрошенко,

¹ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

²ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского», Брянск, Россия

Аннотация. Реабилитация субстратов при рекультивации отвалов (мест полигонов отходов) – актуальные технологии от разработки которых зависит средообразующая роль почвы. Приём залужения почв выполняет почвоулучшающую роль: исследования доказали улучшение содержания валового гумуса, калия, фосфора, ряда агрофизических свойств субстратов. Продуцирование растительного опада, биохимическая активность корневых систем растений доминантов в биоценозах увеличивает биологическую активность почв, в том числе и ферментативную. Показано, что фитореабилитанты изменяют гранулометрию почв: наименьшая плотность установлена по посевам многолетних ксерофильных злаков, минимальные показатели – под *Phleum pratense*; значительная плотность почвы сохраняется в почве под ксерофильными злаками, и *Calamagrostis epigeios*; показатели порозности (в %) также выше для почвы под искусственно созданными сообществами. За трёхлетний период наблюдений выявлено увеличение валового гумуса в почвах при искусственном залужении, зависящий от количества растительного опада и регулирующийся деятельностью микроорганизмов. Искусственное залужение карьеров при разработке минерального сырья способствует формированию устойчивого комплекса микроорганизмов, вызвав изменение целлюлозолитической активности почв от 15,0 до 20,1 %. Реабилитация почв вызвала и повышение активности каталазы, что подтверждено прямой корреляционной взаимосвязью между двумя показателями ($R=0,78$). На концентрацию серы, подвижного фосфора, а также на кислотность почв реабилитанты оказали малое воздействие. При рекультивационных мероприятиях необходимо предусматривать сочетание фито- и химической мелиорации. В условиях нечерноземной зоны РФ целесообразно использовать при залужении ксерофитные и ксеромезофитные злаки – *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Bromopsis inermis*, хорошо показавшие себя в опытах; также можно использовать естественный ресурс восстановления растительных травянистых сообществ, используя рудеральные виды как элементы первичных сукцессий, и мелкозлаковые сообщества.

Ключевые слова: почвы, восстановление, агрохимические показатели, агрофизические показатели, залужение, фитомелиорация, Нечерноземье РФ.

Для цитирования: Почвоулучшающая роль сообществ травянистых растений при фитомелиорации техногенных разработок минерального сырья приёмом залужения / П.П. Атрошенко, Л.Н. Анищенко, М.В. Семьшев, С.Н. Поцепай // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 3 (103). С. 14-19.

Original article

SOIL IMPROVING ROLE OF HERBACEOUS PLANT COMMUNITIES IN PHYTOMELIORATION OF TECHNOGENIC MINERAL DEPOSITS BY GRASSING DOWN

¹Svetlana N. Potsepai, ²Lydiya N. Anishchenko, ¹Mikhail V. Semyshev, ¹Pavel P. Atroshenko

¹Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovski, Bryansk, Russia

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. Rehabilitation of substrates during the reclamation of dumps (waste landfill sites) - current technologies on the development of which the environment-forming role of the soil depends. The soil grassing down performs a soil-improving role: researches have proved the improvement of gross humus, potassium, phosphorus content and a number of agrophysical properties of substrates. The production of plant litter fall, the biochemical activity of the root systems of dominant plants in biocenoses increases the biological activity of soils, including enzymatic one. It has been shown that phytorehabilitation agents change the granulometry of soils: the lowest density was established for crops of perennial xerophilic grasses, the minimum values were found for *Phleum pratense*; significant soil density is retained in the soil under xerophilic grasses, and *Calamagrostis epigeios*; porosity indicators (in%) are also higher for soil under artificially created communities. Over a three-year observation period, an increase in gross humus in soils

under artificial grassing was revealed, depending on the amount of plant litter and regulated by the activity of microorganisms. Artificial turfing of quarries during the development of mineral raw materials contributes to the formation of a stable complex of microorganisms, causing a change in the cellulolytic activity of soils from 15.0 to 20.1%. Soil rehabilitation also caused an increase in catalase activity, which was confirmed by a direct correlation between the two indicators ($R = 0.78$). The rehabilitants had little impact on the concentration of sulfur, mobile phosphorus, as well as on soil acidity. The reclamation measures should include a combination of phyto- and chemical reclamation. In the conditions of the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation it is advisable to use xerophytic and xeromesophytic grasses for grassing down – *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Bromopsis inermis*, which have shown themselves well in experiments; it is also possible to use the natural resource of restoring plant herbaceous communities, using ruderal species as elements of primary successions, and small-grass communities.

Key words: soils, restoration, agrochemical indicators, agrophysical indicators, grassing down, phytomelioration, Non-Black Soil Zone of the Russian Federation.

For citation: Soil improving role of herbaceous plant communities in phytomelioration of technogenic mineral deposits by grassing down / P.P. Atrosnenko, L.N. Anishchenko, M.V. Semyshev, S.N. Potsepai // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 3 (103). 14-19.

Введение. В условиях староосвоенного региона Нечерноземья РФ проблема рекультивации земель, нарушенной в результате добычи минерального сырья особенно актуальна, по значимости приближающаяся к горным регионам. Эффективность рекультивационных и мелиоративных мероприятий определяется используемыми приёмами и методами осуществления [1,3,7]. В целом по Российской Федерации ежегодно рекультивируется до 50% нарушенных земель, лидеры – Уральский, Сибирский и Дальневосточный округ [4]. В пределах Брянской области необходимость быстрых и экономически обоснованных мелиоративных работ экологически обосновано, так как площади ценных земель могут быть быстро вовлечены в работу и составить значительную часть компонентов агроценозов, например, в виде пастбищ, полноценных кормовых угодий, посевных площадей [8]. Полученные результаты и данные по механизмам реабилитации могут рекомендоваться для восстановления полигонов промышленных и бытовых отходов, консервируемых или подлежащих закрытию ввиду объективных причин, поэтому актуальны. Однако при проведении мелиоративных мероприятий невозможно добиться полного восстановления функций и структуры почв, особенно при добыче минерального сырья, важно включить реабилитированные земли в процесс рационального использования и значительную часть их экологических функций [2,5].

Цель работы – представить результаты опыта при использовании реабилитантов почв – травянистых растений – по агрофизическим, агрохимическим и биохимическим показателям в условиях нечернозёмной зоны. Одним из действенных приёмов мелиорации и восстановления признано залужение, которое реабилитирует не только биоценотическую часть сообщества, но и действительно повышает значимые в агротехническом плане условия биокосного тела.

Материал и методика исследований. Методика исследований – метод пробных площадей (ПП), которые заложены на месте отвалов и карьеров после добычи песка; контроль – естественное зарастивание ПП после технической рекультивации, которая создаёт условия для незначительных по скорости процессов зарастания. Почва реперных участков рыхлилась поверхностно, вносились минеральные удобрения в дозах $N_{20} P_{20} K_{20}$, при естественном зарастании – без внесения удобрений. На реперных участках предварительно скашивалась однолетняя рудеральная растительность, её остатки запахивались. Отбор проб проводился по общепринятым нормам, определение агрохимических и агрофизических свойств выявляли агротехнически и агроэкологически значимых показателей. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, 1984; содержание нитратного азота ионометрическим методом, 1986; рН (KCl) по методу ЦИНАО, 1985; подвижного фосфора и обменного калия по Чирикову, 1984; содержание подвижных микроэлементов и тяжелых металлов методом атомно-адсорбционной спектроскопии. Целлюлозолитическая и ферментативная активность устанавливалась микробиологическими и биохимическими методами. Выявлялись некоторые агрофизические показатели почв, определяющие все значимые показатели (Аринушкина Е.В. *Руководство по химическому анализу почв*. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.; Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. *Методы исследования физических свойств почв*. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.; Воробьёва Л.А. *Химический анализ почв*. М.: Изд-во МГУ, 1998, 272 с.; Зенова Г.М., Степанов А.Л., Лихачева А.А., Манучарова Н.А. *Практикум по биологии почв*. М.: Изд-во МГУ, 2002. 120 с.). Все исследования проводились на третий год после приёма залужения в конце вегетационного периода. Названия сосудистых растений указано по чек-листу П.Ф. Маевского [6].

Залужение почв после первичных технических мероприятий велось с использованием *Phleum pratense* L., *Festuca pratensis* Huds., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub. При естественном зарастании формировалось наземное сообщество (доминант - *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) с *Carlina biebersteinii* Bernh. ex Hornem., *Senecio jacobaea* L. (вариант 1), сообщество рудеральных растений из *Artemisia absinthium* L., *Cichorium intybus* L., *Tanacetum vulgare* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Rumex confertus* Willd., *Elytrigia repens* (L.) Nevski (вариант 2), сообщество из ксерофильных злаков-доминантов – *Anthoxanthum odoratum* L., *Koeleria cristata* (L.) Pers. (вариант 3). Математическая обработка проводилась стандартная (Лакин Г.Ф. Биометрия М.: Высшая школа, 1990. 354 с.).

Результаты исследований. В результате трёхлетнего периода залужения отвалов после добычи песчано-гравийного сырья получены результаты (таблица), которые могут установить рекомендации для реабилитационных процессов.

Таблица 1 – Показатели агрофизических свойств субстратов (почвы) при восстановительных процессах приёмом залужения

Вариант залужения *	Плотность, г/см ³	Порозность, % (M±m)	Валовый гумус, %	Влажность, %, (M±m)	Нитрифицирующая способность, мг/кг
1	1,12	49,58±2,3	1,98	21,73 ±1,5	4,58
2	1,16	49,33±2,5	1,92	22,18±1,5	4,72
3	1,18	43,46±2,7	1,87	21,97±1,3	4,11
4	1,33	29,97±2,1	1,22	18,07±1,2	3,58
5	1,30	33,16±2,2	1,37	19,56±1,3	2,84
6	1,39	27,72±2,1	1,19	19,32±1,1	3,07

Примечание: варианты залужения: 1 – с *Phleum pratense* L., 2 – с *Festuca pratensis* Huds., 3 – с *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub., 4 – сообщество с *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, 5 – сообщество с рудеральными видами, 6 – сообщество с ксерофильными злаками

От гранулометрии почв в значительной степени зависит интенсивность процессов почвообразования, которые определяют превращение, перемещение, накопление органических веществ. Также гранулометрические характеристики определяют водно-физический, физико-механический, воздушный режим почв, условия для окислительно-восстановительных процессов. При исследовании показателей почвы в 30-сантиметровом слое биокосного тела на ПП выяснено, что плотность почвы изменяется в зависимости от видового состава растений, используемых для залужения: наименьшая плотность установлена по посевам многолетних ксерофильных злаков, минимальные показатели – под *Phleum pratense*; значительная плотность почвы сохраняется в почве под ксерофильными злаками, и вейником наземным. Плотность почвы под всеми вариантами опыта от минимальных до максимальных увеличивается на 67 %.

Показатели порозности (в %) также выше для почвы под искусственно созданных сообществах, наименьшая – 27,72 % - в почве под ксерофильными злаками при естественном зарастании субстратов. Наиболее благоприятной порозность считаются показатели в 50-60 %, зависящая от влажности, плотности и удельной поверхности почвенных частиц. Порозность почвы под искусственным лугом из трёх видов злаков оценивается как удовлетворительная. Значения порозности до 30 % – неудовлетворительный. Эта гранулометрическая величина зависит от плотности, поэтому закономерно уменьшается на относительно плотных почвах.

Содержание органических веществ в образцах почвы (в %) невелико, колеблется от 1,19 до 1,98, связано со структурированностью и влажностью, показатели которой закономерно уменьшаются под естественными травянистыми биоценозами. Наименьшие показатели содержания органических веществ отмечены для почв естественного залужения с вейником наземным и ксерофильными злаками (вариантами 4 и 6). Минимальная влажность определена для почв под сообществами типичных суходольных лугов с *Calamagrostis epigeios*. Вычисленные показатели валового гумуса для всех вариантов опыта реабилитации почв – минимальные, составляют до 80 % от общего показателя валового гумуса для почв сельскохозяйственных угодий (2,16 % – 86 % от оптимального уровня) [10]. Однако за трёхлетний период реабилитации почв на техногенных разработках минерального сырья показатели валового гумуса значительно возросли, при условии практически нулевого содержания после технического этапа восстановления. Эту агротехническую величину характеризует показатель категории «низкий». Валовый гумус зависит от количество растительного опада и определяется деятельностью микроорганизмов в почвенном биотическом комплексе. Нитрифицирующая способность почв как величина накопления нитратов под влиянием

микробиологических процессов при оптимальных климатических показателях динамичны, наиболее высокие численные показатели кумуляции нитратов также зарегистрированы для искусственно созданными посевами. Этот важный агрохимический показатель связан непосредственно с порозностью; уровень нитрификации определяется водным и воздушным режимом, фракционным составом гумуса и его количеством.

Таким образом благоприятное воздействие процессов залужения почв, зависящее от видового состава используемых травянистых растений, в том числе и при естественной реабилитации способствует формированию благоприятных агрофизических свойств и, как следствие, почвенного плодородия. Корреляционный анализ для агрофизических показателей позволил установить тесную обратную взаимосвязь между: содержанием гумуса и плотностью почвы ($R = -0,68$), показателями плотности и порозности почвы ($R = -0,65$). Средняя прямая зависимость доказана для порозности (плотности) и нитрификационной способностью ($R = 0,55$). Умеренная прямая зависимость рассчитана для показателя порозности и влажности почвы ($R = 0,33$), нитрификационной способностью и плотностью (порозностью) ($R = 0,47$).

Целлюлозолитическая активность (в %) почвы определяет все биохимические процессы в пахотном горизонте (0-30 см) и отражена на рисунке 1.

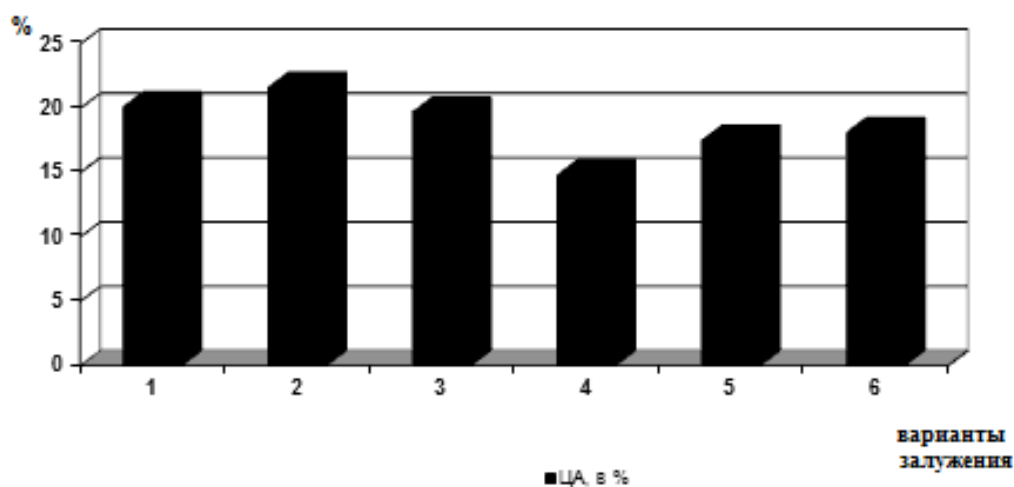


Рисунок 1 – Данные по целлюлозолитической активности почв в вариантах эксперимента при залужении

Варианты залужения: 1 – с *Phleum pratense* L., 2 – с *Festuca pratensis* Huds., 3 – с *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub., 4 – сообщество с *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, 5 – сообщество с рудеральными видами, 6 – сообщество с ксерофильными злаками

Целлюлозолитическая активность изменяется от 15,0 до 20,1 %, что можно охарактеризовать показателем «низкая и средняя». Минимальная биологическая активность почв по разложению целлюлозы характерна для почв с низкой влажностью, порозностью и высокой плотностью. Искусственное залужение злаками отвалов приводит к формированию устойчивого комплекса микроорганизмов, в том числе повышающих фиксацию азота в виде нитратов.

Один из показателей биологической активности почвы – ферментативная активность, наиболее показательна – активность фермента каталазы, которая освобождает от перекисных соединений почвенный поглощающий комплекс. Образование этого фермента связано с деятельностью почвенной микофауны, альгофлоры почв и развитием корневых систем растений; каталаза устойчива, накапливается в почве, длительно сохранять активность.

Показатели активности каталазы ($\text{см}^3\text{O}_2/\text{гмин}$) в почве опытных вариантов отражены на рисунке 2.

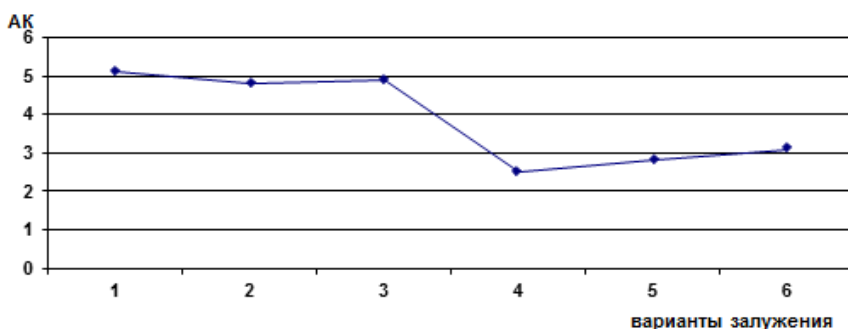


Рисунок 2 – Изменение активности каталазы (AK, см³O₂/гмин) в зависимости от вариантов залужения и развития травяного покрова

Примечание: вариант залужения – обозначения аналогичны рисунку 1.

Активность каталазы изменяется от минимального значения 2,8 до 5,1 см³O₂/гмин, что позволяет оценить ферментативную активность почв к категории «низкая активность» и «средняя активность» соответственно. Активность каталазы связана с целлюлозоразрушающей активностью – тесная корреляционная прямая взаимосвязь (R= 0,78).

Таблица 2 – Показатели агрохимических свойств субстратов (почвы) при восстановительных процессах приёмом залужения

Вариант залужения*	Значения pH (гидролитическая)	Подвижный фосфор по Кирсанову (P ₂ O ₅), мг/кг (M±m)	Обменный калий (K ₂ O), мг/кг (M±m)	Подвижная сера (SO ₃), мг/кг (M±m)
1	5,16	158,3 ±8,5	135,6 ±8,8	4,3 ±0,7
2	5,20	147,9 ±8,0	129,2 ±8,9	4,1 ±0,5
3	5,55	141,21 ±8,1	131,3 ±9,2	4,6 ±0,5
4	4,76	125,31 ±8,2	122,4 ±8,1	3,5 ±0,5
5	5,18	137,72 ±9,1	125,5 ±8,1	4,1 ±0,9
6	4,98	130,67 ±9,2	127,5 ±8,4	3,9 ±0,5

Примечание: варианты залужения аналогичны таблице 1.

Максимальное содержание подвижного фосфора выявлено на ПП с искусственным залужением; от 158 до 141 мг/кг, что соответствует показателю «среднее содержание». Однако, колебания значений фосфора в почвенном поглощающем комплексе всех вариантов опыта залужением изменяется незначительно: минимальный показатель – 125,31 мг/кг. Значения концентраций фосфора в почве зависит от кислотности среды: минимальные показатели зарегистрированы для варианта с вейником наземным. Все образцы при определении кислотности показали кислую реакцию субстрата, что ускоряет процессы перехода фосфора в труднодоступное состояние. Концентрация обменного калия в почвах ПП оценивается как средняя: динамика имеет незначительный разброс – от 122 до 131 мг/кг.

Пахотный горизонт исследуемых почв показал концентрацию серы 4,6-3,5 мг/кг, что характеризует низкую обеспеченность, что требует в первую очередь рассмотрения вопроса о внесении комплекса микроэлементов в почву при организации реабилитационных процессов. Анализ корреляционных зависимостей показал наличие средней прямой зависимости между содержанием калия и общим гумусом (R=0,48), калия и влажностью (R=0,43), калием и нитрификационной способностью почв (R=0,42); а также между содержанием фосфора и общим гумусом (R=0,51), фосфора и влажностью (R=0,44), фосфором и нитрификационной способностью почв (R=0,41). Значения концентраций подвижного фосфора и калия связан высокой прямой зависимостью с кислотностью субстрата (R=0,57 и R=0,55 соответственно).

Выводы. Таким образом, процесс залужения как один из приёмов фитомелиорации (и фитореабилитации) почв выполняет почвоулучшающую роль. Однако необходимо продолжать исследования в направлении подбора наиболее эффективной с точки зрения агробиологии и агрохимии, а также экономических затрат сочетания травянистых растений для реабилитации. Исследования доказали улучшение содержания валового гумуса, калия, фосфора, ряда агрофизических свойств субстратов. Продуцирование растительного опада, биохимическая активность корневых систем растений доминантов в биоценозах увеличивает биологическую активность почв, в том числе и ферментативную. Но на концентрацию серы, подвижного фосфора, а также на кислотность почв реабилитанты оказали малое воздействие. Следовательно, при

рекультивационных мероприятиях необходимо предусматривать сочетание фито- и химической мелиорации, например, известкования для раскисления. В условиях нечерноземной зоны РФ целесообразно использовать при залужении ксерофитные и ксеромезофитные злаки – *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Bromopsis inermis*, хорошо показавшие себя в опытах; также можно использовать естественный ресурс восстановления растительных травянистых сообществ, используя рудеральные виды как элементы первичных сукцессий, и мелкозлаковые сообщества.

Список источников

1. Верташов П.Г., Баранова Ю.А. Фитомелиорация // Тенденции науки и образования. 2022. № 87 (2). С. 16-18.
2. Галайда К.П., Тальгамер Б.Л. Оценка самозарастания горных выработок на карьере известняков в городе Инкерман Крымского полуострова // XXI век. Техносферная безопасность. 2022. № 7 (1). С. 75–84.
3. Рекультивация карьеров [Электронный ресурс] / А.А. Горчакова, М.Х. Атаханова, С.Я. Бекмаммедов, М.Ш. Бабаназаров // Современные научные исследования и инновации. 2023. № 9. - Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2023/01/99846>
4. Проблемы восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых / А.Н. Иванов, М.Н. Игнатьева, В.В. Юрак, Н.Г. Пустохина // Известия Уральского горного университета. 2020. Вып. 4 (60). С. 218-227.
5. Коробова Л.Н., Риксен В.С. Залужение как экологический фактор трансформации солонца и его микрофлоры // Принципы экологии. 2022. № 2 (44). С. 58-67.
6. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд., испр. и доп. М.: Тов. науч. изд-во КМК, 2014. 635 с.
7. Макарова Н.М. Перспективные растения для фитомелиорации засоленных почв // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021. № 60. С. 129-133.
8. Осипенко Р.А. Рекультивация земель как резерв кормовой базы животноводства // Аграрный вестник Урала. 2021. № 5 (208). С. 40-54.

Информация об авторах:

С.Н. Поцепай – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, snpotsepai@yandex.ru.

Л.Н. Анищенко – доктор сельскохозяйственных наук; профессор кафедры географии, экологии землеустройства, ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», eco_egf@mail.ru.

М.В. Семыщев – заведующий кафедрой иностранных языков, кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, mwsemm@mail.ru.

П.П. Атрошенко – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, bgsha@bgsha.com.

Information about the authors:

S.N. Potsepai – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, Bryansk State Agrarian University, snpotsepai@yandex.ru.

L.N. Anishchenko – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Geography, Ecology of Land Management, Bryansk State University named after acad. I. G. Petrovsky, eco_egf@mail.ru.

M.V. Semyshev – Head of the Department of Foreign Languages, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Agrarian University, mwsemm@mail.ru.

P.P. Atroshenko - Postgraduate student of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, bgsha@bgsha.com.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024; одобрена после рецензирования 24.05.2024, принята к публикации 31.05.2024.

The article was submitted 19.02.2024; approved after reviewing 24.05.2024; accepted for publication 31.05.2024.

© Поцепай С.Н., Анищенко Л.Н., Семыщев М.В., Атрошенко П.П.