

## Возможный потенциал использования различных отходов для создания биоудобрений

*А.В. Абузов, Е.В. Дахова, А.С. Шевчук, К.А. Бархатов*

*Тихоокеанский государственный университет*

**Аннотация:** В работе рассмотрена возможность использования отходов лесной промышленности, строительных отходов и золошлаковых отходов котельного отопления в качестве основы для создания биоудобрений и компонентов улучшающих структуру тяжелых почв. Представлен анализ лабораторного опыта по воздействию дробленого кирпича, хвойного и листового опада с включением древесных компонентов, и золошлаковых отходов котельного отопления на ростовые функции клевера красного, кресс-салата, овса за различные временные интервалы. Рассмотрена возможность использования представленных отходов в процессе самозарастания территорий.

**Ключевые слова:** отходы лесной промышленности, строительные отходы, бой кирпича, золошлаковые отходы, самозарастание, фитотоксичность, структура почвы, морфологические изменения растений.

Территория Дальнего Востока обладает богатым потенциалом природных ресурсов, вместе с тем имея низкую плотность населения. Подавляющее большинство городов России относится к категории малых, что суммарно дает более 2000 населенных пунктов до 100 тысяч человек, при этом общая численность проживающих там людей составляет 24 % от общего населения Российской Федерации (Города-Россия. рф 2011-2023). Исходя из данных по плотности населения (рис.1), можно сделать вывод, что районы, богатые лесом и углем, имеют достаточно низкую плотность населения, усугубленную демографическими проблемами 90-х годов XX века и оттоком населения в центральные и западные регионы страны. Соответственно, одной из ведущих отраслей промышленности является лесозаготовка и деревообработка, наиболее распространенными источниками теплоснабжения являются котельные небольшой мощности и индивидуальные отопительные системы с использованием угля и дров.

Социально-демографические явления, обозначенные выше, повлекли за собой запустение и разрушение ряда строений, в том числе, из строительного

кирпича. Также образование строительных отходов можно считать нормальным явлением при существовании и функционировании населенных пунктов. Высокая степень разрозненности поселений и точек добычи ресурсов, очаговость ряда предприятий, небольшие объемы формирующихся отходов, также свидетельствует о снижении экономической привлекательности мероприятий по их переработке, при этом не снижая нагрузку на компоненты окружающей среды [1,2].

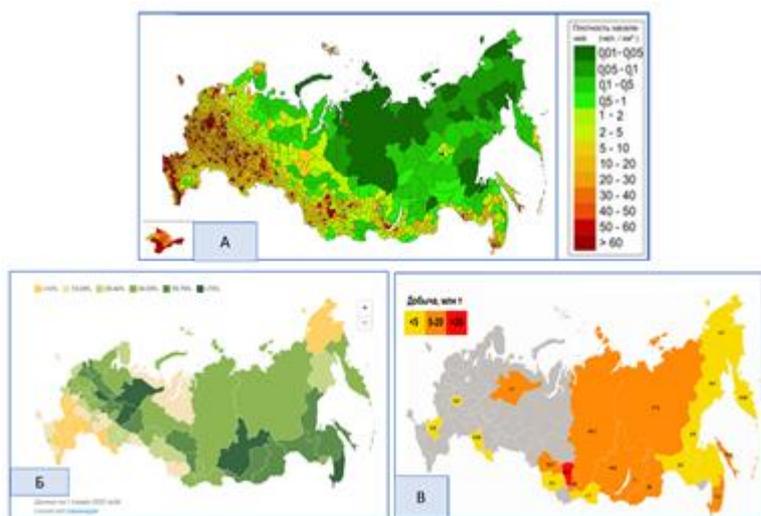


Рис. 1. – Сравнение показателей плотности населения России (А) с размещением лесистости регионов (Б) и размещением угледобывающих районов России (В)

Таким образом, при оценке возможных мероприятий по вовлечению отходов в переработку, в первую очередь стоит рассмотреть варианты, не требующие транспортировки на большие расстояния, имеющие высокую степень универсальности по территории, вовлекающие в процесс минимальное количество дополнительных компонентов.

Одним из самых распространенных типов биоудобрений из отходов лесной промышленности является древесная зола, получаемая в результате сжигания древесины. Она содержит множество микроэлементов, таких, как калий, кальций, магний и фосфор. Древесная зола может быть использована

для улучшения качества почвы и повышения ее плодородности. Смежным направлением переработки отходов является выпуск биотоплива [3,4].

С 2022 года на территории страны введен запрет на открытое сжигание отходов лесопиления, внесены коррективы в правила утилизации, введен запрет на вывоз круглого леса из страны, что совокупно увеличивает объемы образования и накопления отходов. Исходя из этого, малые и средние предприятия попадают под угрозу закрытия, так как модернизация и оснащение предприятия специальным оборудованием несет за собой экономические и хронологические расходы.

Еще одним типом биоудобрений, из отходов лесной промышленности, требующим меньших затрат, является компостирование, что подразумевает разложение органики под воздействием бактерий и других микроорганизмов. Для компостирования опилок и других древесных отходов могут использоваться бактерии рода *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, а также грибы рода *Aspergillus* и *Penicillium*. Для производства биоугля из древесных отходов могут использоваться также бактерии рода *Bacillus* и *Pseudomonas*, а также грибы рода *Trichoderma* и *Phanerochaete*. Выбор конкретных микроорганизмов зависит от типа отходов и требуемых свойств получаемых биоудобрений. Стоит отметить потенциальный вред при использовании не подготовленных отходов от хвойных пород, по причине содержания органических веществ, действующих угнетающе на живые организмы. В процессе компостирования летучие органические вещества, такие как фенолы и ксилолы, разлагаются на более простые соединения, которые не так сильно влияют на кислотность почвы. Кроме того, в процессе компостирования происходит выделение углекислого газа, что способствует снижению кислотности почвы [5, 6]. В итоге, готовый компост содержит много азота и фосфора, необходимых для роста растений. Также предусматривается улучшение физических показателей почвы. Возможность

---

задействовать малые объемы отходов привлекательны для небольших производств, а размещение в точках комплексной лесозаготовки и деревообработки дает возможность использовать данный вид удобрений при восстановлении нарушенных природных территорий. Для минимизации вреда от опилок хвойных пород при использовании их в качестве биоудобрения, необходимо учитывать следующее:

1. Использовать опилки только после компостирования, что позволяет разложить летучие вещества и снизить кислотность.
2. Применять в небольших количествах и в смеси с компонентами.
3. Не использовать опилки хвойных пород на кислых почвах.
4. Учитывать физиологическую составляющую растений, т.е. применять преимущественно на растениях, которые могут переносить повышенную кислотность почвы.

Процесс производства биоудобрений из золы и шлака каменного и бурого угля требует особого внимания и контроля, так как эти материалы могут содержать тяжелые металлы и другие вредные вещества, которые могут быть переданы растениям через биоудобрения и в последующем подлежат биоаккумуляции. Для производства безопасных и эффективных биоудобрений из золошлаковых отходов необходимо проводить тщательный анализ и контроль качества сырья и производственного процесса по химическим и радиологическим показателям. Золошлаковые отходы, согласно ФККО, относятся к IV-V классу опасности отходов. Для подтверждения безвредности необходимо проведения биотестирования рассматриваемых образцов. В ходе применения данного типа отходов в мелиорации, оказывается благоприятное воздействие на структуру почвы, что наиболее актуально на территориях с тяжелыми почвами.

Для производства биоудобрений из кирпича может использоваться компостирование остатков строительных материалов, таких как кирпичная

---

крошка, цементная пыль и другие остатки в комбинации с растительными компонентами. Для этого применимы группы микроорганизмов, подобные рассмотренным при компостировании древесных отходов. Однако, как и в случае с золой и шлаком, необходимо проводить тщательный анализ и контроль качества сырья и производственного процесса, чтобы избежать передачи вредных веществ растениям. Также следует учитывать, что кирпич может содержать соли и другие химические соединения, которые могут повлиять на качество и безопасность биоудобрений. Важно отметить, что производство биоудобрений из кирпича может быть более экологически и экономически эффективным, чем утилизация остатков строительных материалов. Это позволяет снизить количество отходов на свалках и полигонах и сократить затраты на их вывоз и обработку. Кирпич из строительных отходов часто используется в агротехнике для улучшения структуры почвы. Ряд авторов считает, что кирпичная крошка оказывает незначительное воздействие на растительные организмы, что говорит об отсутствии нарушения экологического баланса территории [7].

Была поставлена серия опытов по выявлению фитотоксического эффекта, а также реакции общего угнетения или стимулирования ростовых показателей высших растений при использовании в качестве субстрата в чистом виде, либо смеси с природной почвой, древесных компонентов, образцов золошлаковых отходов различного срока лежалости, боя кирпича.

Растения, как биотический компонент, играют решающую роль в структурно-функциональной организации экосистемы, их отклик и чувствительность к нарушениям окружающей среды быстро и наглядно отражают изменения экологической обстановки территории. Существует множество методов определения фитотоксичности почвы, за основу в данной работе взят ГОСТ Р ИСО 18763-2019, ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Растения

---

тест-объекты: Клевер луговой (лат. *Trifolium pratense*); Овес посевной (*Avena sativa*); Кресс-салат (лат. *Lepidium sativum*).

Экспериментальные исследования проводились в 2 этапа: учитывались всхожесть и энергия прорастания семян, затем параметры фитотоксичности, исходя из ростовых показателей анализируемых растений. Энергия прорастания рассчитывалась, как количество нормально проросших семян в течение установленного срока, выраженное в процентах от количества семян, взятых для определения всхожести. Опыты проводились в трехкратной повторности. Проращивание семян осуществлялось при температуре 18-20 °С в течение 7 дней в чашках Петри. Также на протяжении до 8 недель при проращивании в почвогрунте в лабораторных условиях была проведена визуальная оценка воздействия растительных и строительных отходов на травянистые растения. Одновременно ставился холостой эксперимент (контроль). Определение фитотоксического эффекта проводилось путем сопоставления показателей тест-функции контрольных и опытных семян. Величина показателя вычислялась по формуле, как среднее арифметическое из совокупности данных о длине корней проростков. Величина эффекта торможения (фитоэффект) рассчитывалась по формуле:

$$E_T = (L_k - L_o) / L_k * 100$$

где  $E_T$  – эффект торможения, %;  $L_o$  – средняя длина корней в опыте, мм;  $L_k$  – средняя длина корней в контроле, мм. Оценка фитотоксичности <20 % – норма; 20-40 – слабая фитотоксичность; 40-60 – средняя фитотоксичность; > 60 % – сильная фитотоксичность (Согласно ГОСТ Р ИСО 18763-2019, ГОСТ Р ИСО 22030-2009).

Результаты исследования представлены по трем группам.

*1. Возможность использования строительных отходов (кирпич), как компонента почвосмеси.* Определение фитотоксичности проводили по следующему алгоритму: из наносного верхнего слоя почвы были удалены

---

листья, корни. Оставшаяся почва принята за контроль. Почва доведена до воздушно-сухого состояния. Кирпичи красный и силикатный, каждый в отдельности, были раздроблены до состояния структурной почвы, просеяны. В пластиковые контейнеры слоями помещены навески по 50 г силикатного и красного кирпича, верхний слой – почва. В опыте со смесью – все компоненты перемешаны. Перед посевом семян, верхний слой каждого образца смачивали 10 мл воды. Высевались семена кресс-салата и клевера лугового по 10 штук. Наблюдения проводили через 7, 10, 15 и 20 суток.

Варианты лабораторного эксперимента:

1. Контроль (почва).
2. Смесью – перемешанные почва, кирпич красный, силикатный (1:1:1).
3. Слои (1:1:1) – почва, кирпич красный, силикатный.
4. Слои (2:1:1) – почва, кирпич красный, силикатный.

В первую неделю фиксировалось интенсивное развитие корня во всех образцах. В последующем отмечена положительная динамика роста по отношению к равномерному слоевому распределению кирпичного компонента. Демонстрация промежуточных результатов приведена на рис.2.

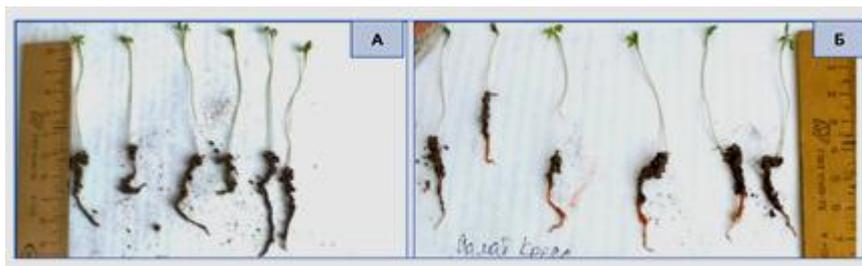


Рис.2 – Демонстрация проростков кресс-салата через 10 дней опыта в вариантах контроля (А) и слоеного почвенно-кирпичной варианта 1:1:1 (Б).

Изначально хорошие результаты контроля к концу опыта проявляют угнетение. Такое распределение обусловлено эффектом накопления влаги в слое кирпича и постепенной отдаче его в верхние почвенные слои. В случае с равномерным перемешиванием трех составляющих (проба «смесь») происходит эффект «забора влаги» с невозможностью постепенной отдачи в

---

почву. Вероятно, влага испаряется, не доходя до растения. Эффект, показанный в опыте обусловлен высокой влагоемкостью кирпича. Он впитывает воду до 10-12 % собственного веса, при этом влага быстро впитывается и очень медленно возвращена в почву [8].

По результатам анализа эффекта торможения можно сделать вывод, что токсический эффект не проявляется в представленных образцах, колебания значений могут быть вызваны погрешностью, возникшей вследствие недостатка влаги в опытном образце, в ходе «запирания» ее в компонентах кирпича. Таким образом, отходы строительства в виде боя кирпича, потенциально могут быть использованы для формирования компонента почвосмеси. Высокая накопительная способность по отношению к влаге положительно скажется в условиях краткосрочной засухи.

*2. Возможность использования красного кирпича и компонентов древесных отходов, как компонента почвосмеси при самозарастании территорий.* На основании первого опыта был поставлен опыт №2. В образцы почвы, отобранной в условиях Хабаровского района на территории древесно-луговой растительности, и предварительно подготовленной аналогично опыту №1, вносился бой красного кирпича и древесные компоненты, представленные частицами коры, хвои, грубого листового опада. Крупные компоненты были измельчены до размера 5-10 мм. Гранулометрический состав почвы определен «мокрым» способом как суглинок (по Н. А. Качинскому). Для опыта были взяты емкости, способные вмещать 400 грамм почвосмеси и объемом благоприятным для роста восьми растений в течение 14 дней, и оставшихся после прорезживания растений еще в течение 4 – 6 недель. Емкости снабжены дренажными отверстиями. Сразу после внесения семян почву было произведено увлажнение до 80 % полной влагоемкости. Последующий полив осуществлялся поверхностно путем распыления деминерализованной воды в одинаковом объеме для всех

---

опытных образцов. Для равномерного естественного освещения емкости регулярно перемещались относительно друг друга. Опыт призван провести демонстрацию естественного состояния почвенного покрова при внесении в него добавочных компонентов, выраженный через состояние растений двух систематических групп, родственные представители которых широко распространены в местах отбора почвы.

### 3. Варианты лабораторного эксперимента (рис. 3):

1. Слоевое распределение: почва - бой кирпича - растительный компонент, без заглабления.
2. Слоевое распределение: почва - бой кирпича - растительный компонент, с заглаблением в почву.
3. Контроль – почва без добавок.



Рис.3 – Варианты используемого субстрата

По результатам промежуточного исследования, фитотоксический эффект не зафиксирован по истечению недельного опыта. Наблюдается незначительное отставание показателей энергии прорастания в образцах при слоевом распределение: почва - бой кирпича - растительный компонент, без заглабления. Последующие испытания свидетельствуют об отставании ростовых показателей клевера лугового и овса посевного в контрольной группе к двухнедельному сроку. Динамика ухудшения ростовых показателей фиксируется на протяжении всего срока опыта (8 недель). В первую очередь нарушениям подверглась корневая система, что обусловлено нарушением корневого дыхания и общей аэрации почвы по причине уплотнения и плохого дренажа почвы без включений, а также вероятному застою влаги.

Наиболее благоприятным субстратом для роста растений определен состав слоевого распределения: почва – бой кирпича – растительный компонент, с заглублением в почву (рис. 4).



Рис.4. – Состояние растений (клевер, овес) по истечению 6 недель на составе почвосмеси №2

Спустя 6 недель зафиксировано цветение овса с образованием метелки средней длины. Цветение клевера по истечению 8 недель не зафиксировано ни в одном из представленных образцов, что может быть связано как с условиями опыта, так и погрешностью, обусловленной нарушением светового режима данного растения. Можно сделать вывод о возможности использования смесовых составов для улучшения показателей почвы.

### *3. Оценка фитотоксичности золошлаковых отходов каменного угля.*

Был поставлен ряд опытов на пробах золошлаковых отходов различной лежалости. Образцы, массой 10 г, помещали в чашки Петри, увлажняли дистиллированной водой и засеивали семенами. Выявлено увеличение фитотоксического эффекта при снижении времени лежалости отходов. Сильная фитотоксичность определена в образцах лежалостью не более 3 месяцев на всех тест-объектах. Результаты указывают на наличие более сильного эффекта по отношению к семенам клевера (табл. 1). Подобную динамику имеет показатель энергии прорастания. У проростков отмечается отсутствие или снижение количества корневых волосков, угнетение,

потемнение корня, перемычки, утолщения. Нарушения, могут быть связаны с наличием в образцах металлов и их соединений, а также значением pH [9].

Таблица 1

Фитотоксичность золошлаковых отходов различной лежалости

Вид отхода \ Вид растений	Овес ( <i>Avena sativa</i> )	Клевер ( <i>Trifolium pratense</i> )
ЗШО котельного отопления, 3 года	-2,39	14,48
ЗШО котельного отопления, 3-6 мес.	22,16	34,48
ЗШО котельного отопления, 1-3 мес.	27,55	60,69
ЗШО печного отопления 1-3 мес.	65,87	68,97

Примечание: здесь и далее, цветом обозначены фитотоксичность:   слабая,   сильная

Для дальнейшей оценки были отобраны два образца с наиболее высоким фитотоксическим эффектом. Посев проводился на образцы в различной смесовой части с почвой. Результаты недельного опыта представлены в табл.2.

Таблица 2

Фитотоксический эффект золошлаковых отходов в смеси с почвой

Доля ЗШО \ Вид ЗШО	ЗШО котельного отопления (1-3 мес.)		ЗШО печного отопления	
	Овес Ет, %	Клевер Ет, %	Овес Ет, %	Клевер Ет, %
100%	51,03	69,33	63,45	75,46
50%	18,62	50,92	28,28	69,33
25%	-5,52	14,11	-5,51	66,87
12,5%	-5,52	0,61	-8,96	4,91
6,25%	-11,03	-0,61	-11,72	3,68

Фитотоксический эффект снижается и входит в нормативные показатели при содержании в смеси с почвой 12,5%. Полученные данные являются основой для проведения дополнительных опытов и изучения химического состава рассматриваемых образцов. Рекомендуется рассматривать в качестве компонента биоудобрения золошлак с максимальным сроком лежалости.

Вопрос влияния золошлаковых отходов на растительные организмы носит противоречивый характер. По свидетельству ряда авторов, добавление умеренных количеств золошлаков способствует увеличению урожайности

сельскохозяйственных культур и стабилизирует почву, улучшая ее состав и способствуя удержанию влаги. Комбинирование золошлаков с компостом, органическими и минеральными удобрениями дает положительный эффект при увеличении урожая пасленовых культур до 70%; в этом случае не было отмечено нарушений качества окружающей среды, присутствие следов тяжелых металлов оставалось низким [10]. Таким образом, рассмотренные в работе варианты отходов, могут быть рассмотрены в качестве составляющей при производстве биоудобрений, а также в мелиоративных и рекультивационных целях, особенно по отношению к тяжелым почвам. Производство биоудобрений на месте заготовки леса может быть очень эффективным способом использования отходов лесной промышленности. Это позволяет сократить расходы на транспортировку отходов на другие объекты, а также сократить негативное воздействие на окружающую среду.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Тихоокеанского государственного университета в рамках гранта НИР 3.22-ТОГУ.*

### Литература

1. Жуланова А. М. Кривогино Д. Н. Проблемы концепции устойчивого развития территорий городов России // Инженерный вестник Дона. 2023. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8169](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8169)
2. Шегельман И. Р., Васильев А. С., Щукин П. О., Галактионов О. Н., Суханов Ю. В. Рециклинг отходов: актуальность возрастает // Инженерный вестник Дона. 2014. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2479)
3. Брюханова Е. С., Ушаков Г. В., Ушаков А. Г. Проблемы утилизации мягких отходов древесины и отходов животноводства // Альтернативная энергетика и экология. 2010. №5. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-myagkih-othodov-drevesiny-i-othodov-zhivotnovodstva](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-myagkih-othodov-drevesiny-i-othodov-zhivotnovodstva)

4. Степанов В. И., Мезина Н. А. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве // Вестник РЭА им. Г. В. Плеханова. 2012. №3. URL: [cyberleninka.ru/article/n/othody-lesnoy-promyshlennosti-i-ih-ispolzovanie-v-natsionalnom-hozyaystve](http://cyberleninka.ru/article/n/othody-lesnoy-promyshlennosti-i-ih-ispolzovanie-v-natsionalnom-hozyaystve)

5. Compant S., Duffy B., Nowak J., Clement C., Barka E.A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects // Appl. Environm. Microbiol., 2005, V. 71(9). – P. 4951-4959.

6. Widnyana I.K., Suprpta D.N., Sudana I.M., Temaja I.G.R.M. *Pseudomonas alcaligenes*, potential antagonist against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersicum* the cause of fusarium wilt disease on tomato // J. Biol. Agric. Health., 2013, V. 3. – P. 163-169.

7. Bauer M., Krause M., Heisinger V., Kollmann, J. Using crushed waste bricks for urban greening with contrasting grassland mixtures: no negative effects of brick-augmented substrates varying in soil type, moisture and acid pre-treatment. Urban ecosystems, 25, 1369-1378. DOI: 10.1007/s11252-022-01230-x

8. Дробленый кирпич как компонент для землесмеси // Андрей Лукьянцев. Все про удобрения. – URL: [concranes.ru/kirpichnaya-kroshka-dlya-rochvy/](http://concranes.ru/kirpichnaya-kroshka-dlya-rochvy/)

9. Дахова Е. В., Майорова Л. П., Лукьянов А. И. Биотестирование золошлаковых отходов пгт. Шахтерск Сахалинской области // Ученые заметки ТОГУ. – 2022. – Т. 13. – № 1. – С. 102-105.

10. Cimitile M. Is Coal Ash in Soil a Good Idea? Tons of coal ash are recycled in soil, raising questions about a buildup of arsenic and other toxic substances in food crops / Scientific American, a Division of Springer Nature America, Inc. Date: Feb 6, 2009. URL: [scientificamerican.com/article/coal-ash-in-soil/](http://scientificamerican.com/article/coal-ash-in-soil/)

---

## References

1. Zhulanova, A. M. Krivogina D. N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8169](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8169)
2. Shegel`man I. R., Vasil`ev A. S., Shhukin P. O., Galaktionov O. N., Suxanov Yu. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/24793](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/24793).
3. Bryuxanova E. S., Ushakov G. V., Ushakov A. G. Al`ternativnaya e`nergetika i e`kologiya. 2010. No. 5. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-myagkih-othodov-drevesiny-i-othodov-zhivotnovodstva](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-utilizatsii-myagkih-othodov-drevesiny-i-othodov-zhivotnovodstva)
4. Stepanov V. I., Mezina N. A. Vestnik Rossijskogo e`konomicheskogo universiteta imeni G. V. Plexanova 2012. №.3. URL: [cyberleninka.ru/article/n/othody-lesnoy-promyshlennosti-i-ih-ispolzovanie-v-natsionalnom-hozyaystve](http://cyberleninka.ru/article/n/othody-lesnoy-promyshlennosti-i-ih-ispolzovanie-v-natsionalnom-hozyaystve)
5. Kompant S., Duffy B., Novak J., Clement S., Barka E.A. Appendix. Environment. Microbiol., 2005, vol. 71(9). pp. 4951-4959.
6. Vidnyana I.K., Suprpta D.N., Sudana I.M., Temaya I.G.R.M. J. Biol. Agriculture. Health, 2013, Vol. 3. pp. 163-169.
7. Bauer M., Krause M., Heisinger V., Kollmann, J. Urban ecosystems, 25, 1369-1378. DOI: 10.1007/s11252-022-01230-x
8. Drobleny`j kirpich kak komponent dlya zemlesmesi. Andrej Luk`yancev. Vse pro udobreniya [Crushed brick as a component for dredging]. URL: [concranes.ru/kirpichnaya-kroshka-dlya-pochvy/](http://concranes.ru/kirpichnaya-kroshka-dlya-pochvy/)
9. Daxova E. V., Majorova L. P., Luk`yanov A. I. Ucheny`e zametki TOGU. 2022. 13(1). Pp.102-105.
10. Cimitile M. Scientific American, a Division of Springer Nature America. 2009. URL: [scientificamerican.com/article/coal-ash-in-soil/](http://scientificamerican.com/article/coal-ash-in-soil/)