УДК 630*114.124

**Д. В. Шиман, М. В. Юшкевич, А. С. Клыш**
Белорусский государственный технологический университет

# ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ АБСОРБЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ЛЕСАМИ БЕЛАРУСИ

Мировое сообщество озабочено нарушением углеродного баланса на планете и предпринимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенными факторами. Передовой международный опыт отдельных стран по смягчению последствий изменения климата базируется на нескольких стратегиях, способствующих поглощению и удержанию углерода лесами, среди которых особое место занимают сохранение существующих и создание новых лесов (удержание накопленного углерода путем сохранения биомассы и почвенного углерода в существующих лесах, борьба с сокращением лесных площадей, увеличение доли особо охраняемых природных территорий; охрана и защита лесных насаждений; лесоразведение), совершенствование лесохозяйственных мероприятий для увеличения количества накапливаемого углерода за счет его поглощения (увеличение древесных запасов через изменение оборота рубки, повторяемости рубок ухода; увеличение прироста лесных насаждений; применение экологически щадящих видов рубок, технологий лесозаготовок), замещение материалов и ископаемого топлива (использование древесины для производства более долговечных изделий и конструкций вместо энергоемких бетона, стали и других материалов и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо; совершенствование технологий деревообрабатывающих производств; использование древесины в качестве топлива, в том числе отходов лесозаготовок и деревообработки в качестве сырья для производства биотоплива и др.). Подробный анализ названных стратегий позволил сформулировать ряд мероприятий по увеличению угледепонирования лесами Беларуси на основе совершенствования системы лесоуправления.

**Ключевые слова**: лес, климат, парниковые газы, депонирование, лесоуправление.

**D. V. Shiman, M. V. Yushkevich, A. S. Klysh**
Belarusian State Technological University

# ACTIVITIES TO INCREASE CARBON SEQUESTRATION IN THE FORESTS OF BELARUS

The world community is concerned about the carbon imbalance on the planet and is taking a number of measures to prevent climate change caused by anthropogenic factors. The best international practices of individual countries to mitigate climate change are based on several strategies that promote carbon sequestration and retention by forests. The strategy of preserving existing and creating new forests includes: retaining accumulated carbon by preserving biomass and soil carbon in existing forests, combating a reduction in forest area, increasing the share of specially protected natural territories; protection and defense of forest plantations; forestation. Improving forestry measures to increase the amount of accumulated carbon due to its absorption includes: an increase in tree stocks through a change in the felling turnover, the recurrence of thinning; increase in growth of forest plantations; the use of environmentally friendly types of logging, logging technologies. Substitution of materials and fossil fuels includes: the use of wood for the production of more durable products and structures instead of energy-intensive concrete, steel and other materials and thereby reducing the demand for fossil fuels; improvement of woodworking technologies; the use of wood as fuel, including logging and woodworking waste as a raw material for the production of biofuels, etc. A detailed analysis of these strategies allowed us to formulate a number of measures to increase carbon sequestration by the forests of Belarus based on improving the forest management system.

**Key words:** forest, climate, greenhouse gases, carbon sequestration, forest management.

**Введение**. Леса планеты и их роль в глобальном круговороте углерода с каждым годом приобретают для человечества все большее значение. Развитие промышленности, сжигание ископаемых видов топлива, вырубка лесов и другая деятельность человека привела к нарушению углеродного баланса. В связи с этим мировое сообщество озабочено решением данной проблемы и предпринимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенной деятельностью. На долю лесов, являющихся естественным стабилизатором газового состава атмосферы за счет фотосинтетического связывания $CO_2$ растительностью, приходится примерно 80% углерода, поглощаемого наземной биотой. За последние несколько десятиле-

тий мировые леса поглотили до 30% ежегодных глобальных антропогенных выбросов $CO_2$, примерно столько же, сколько океаны. Однако разработка и реализация мероприятий по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода, снижению его выбросов лесными экосистемами и адаптации лесного хозяйства находится на начальном этапе [1–4].

Цель исследования – предложить мероприятия по увеличению угледепонирования лесами Беларуси на основе изучения передового международного опыта отдельных стран по смягчению последствий изменения климата, вызванных антропогенной деятельностью.

**Основная часть**. В мировой практике существует несколько стратегий, способствующих поглощению и удержанию углерода лесами, среди которых:

– сохранение существующих и создание новых лесов (удержание накопленного углерода за счет сохранения биомассы и почвенного углерода в существующих лесах, в том числе старовозрастных, борьба с сокращением лесных площадей, увеличение доли особо охраняемых природных территорий; охрана и защита лесных насаждений; лесоразведение, в том числе на нарушенных землях, и др.);

– совершенствование лесохозяйственных мероприятий для увеличения количества накапливаемого углерода за счет его поглощения (увеличение древесных запасов за счет корректировки оборота рубки, повторяемости рубок ухода; увеличение прироста лесных насаждений, в том числе использование удобрений; применение экологически щадящих видов рубок, технологий лесозаготовок и др.);

– замещение материалов и ископаемого топлива (использование древесины для производства более долговечных изделий и конструкций вместо энергоемких бетона, стали и других материалов и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо; совершенствование технологий деревообрабатывающих производств; использование древесины в качестве топлива, в том числе отходов лесозаготовок и деревообработки в качестве сырья для производства биотоплива и др.).

По существу названные стратегии хорошо соотносятся с устойчивым лесоуправлением. Результаты проводимых научных исследований с использованием моделей изменения климата противоречивы. Поэтому, пока не будет более достоверных данных, необходимо придерживаться стратегий, направленных на увеличение как лесных запасов, так и лесозаготовок. Анализ результатов многочисленных работ показал, что изменение климата в основном будет отрицательно сказываться на накоплении углерода. При потеплении повышение продуктивности древостоев будет уравновешиваться потерями от участившихся повреждений леса болезнями, вредителями и другими негативными факторами. Мероприятия, снижающие выброс парниковых газов в долгосрочной перспективе, могут быть экономически неэффективны в краткосрочной, что очень сильно влияет на принятие неотложных мер по сокращению эмиссий [2–7].

Важным вопросом является регулирование ведения лесного хозяйства на особо охраняемых природных территориях и их рекреационное использование. Некоторые исследования свидетельствуют о том, что интенсивность угледепонирования выше в лесах, в которых ведется лесное хозяйство (на 48%), по сравнению с природоохранными лесами. В то же время в природоохранных лесах почвенные запасы углерода в 2 раза выше, чем в управляемых за счет потерь углерода при повреждении почвы во время проведения рубок в последних. Хотя потенциально управляемые леса могут накапливать большее количество углерода в почве [2, 5, 8–12].

Одним из факторов, способствующих стоку углерода, является лесоразведение и лесовосстановление. В 2010 г. около 7% мировых были искусственными. Естественное лесовозобновление, минимальная обработка и повреждение почвы при сплошных рубках леса или минимальное (отсутствующее) воздействие на нее (например, выборочные рубки в разновозрастных насаждениях) приводят к меньшим потерям углерода. Рубки в несколько приемов позволяют избежать значительных эмиссий углерода. Тем не менее следует учитывать, что постепенные и выборочные рубки сложнее, а заготовка порубочных остатков более затратна, поэтому потенциал по замене ископаемого топлива древесным снижается. Воздействие рубок ухода на углеродный баланс минимально. Как правило, они практически не приводят к повышению эмиссии углерода. Для максимизации запасов углерода имеет немаловажное значение увеличение их повторяемости. Результаты компьютерного моделирования показывают, что увеличение повторяемости на 20% повышает объем углерода в биомассе на 13, в почве – на 10% за 100 лет. Для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников вредителями рекомендуется увеличивать повторяемость рубок ухода и проводить их в зимнее время или летом в периоды без осадков, а также сохранять высокую полноту древостоев. Лесоводственные подходы, сочетающие увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, обеспечивают увеличение запаса углерода в лесу и параллельно сокращение эмиссий. Результаты исследования также показывают, что стратегия, направленная на максимизацию «любой ценой»

выхода древесины с единицы площади, является не лучшей с климатической точки зрения. Важно учитывать, что стратегии, направленные на увеличение потенциала лесов к депонированию углерода, охватывают определенный, ограниченный отрезок времени. Сток углерода не может увеличиваться бесконечно. Кроме того, со временем возрастает риск эмиссии углерода вследствие воздействия природных катастрофических факторов [2, 5, 9–14].

Подбор пород играет большую роль в обеспечении возможностей леса адаптироваться к климатическим изменениям, а также важен с точки зрения углеродного баланса. Ельники и березняки накапливают в почве больше углерода, чем сосняки. Это может быть связано с более высоким содержанием органического азота в опаде ели и березы, чем сосны. Как показывают результаты ряда исследований, мягколиственные леса накапливают больше углерода, чем хвойные. При этом потенциал накопления углерода последних выше. Связанная с изменением климата активизация повреждаемости и гибели лесов вследствие пожаров, ветровалов и буреломов, поражений вредителями больше затронет чистые по составу, одновозрастные, простые по форме древостои прежде всего ели и других хвойных пород, что делает перспективы их выращивания в будущем неопределенными. Для борьбы со вспышками вредителей потребуются значительные усилия лесного хозяйства. Поэтому необходим переход на древесные породы, более адаптированные к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Устойчивость ельников повышается с увеличением количества древесных видов в составе и общей доли примеси в составе (оптимально 50%) [9–11].

Активное использование удобрений и более интенсивное распространение интродуцентов способствует интенсификации лесовыращивания. В то же время пока не разработаны экспериментальные методики измерения потоков углерода, которые способны показать неттонакопление углерода лесами при многолетнем использовании удобрений. Интенсификация лесовыращивания ведет к формированию однородных популяций и сокращению разнообразия лесов, что может повысить угрозу распространения насекомых-вредителей и болезней леса, а также снижения устойчивости к климатическим изменениям. В настоящее время научных данных, которые позволили бы количественно оценить эти риски, нет. Существует прямая зависимость между содержанием азота в почве и интенсивностью эмиссий оксида азота, соответственно при внесении азота в составе удобрений повышается риск увеличения эмиссии оксида азота лесной почвой. На эмиссию парниковых газов могут оказать влияние и опосредованные эффекты внесения удобрений, например, в результате попадания удобрений в озера и ручьи, которые являются частью лесного ландшафта. По результатам ряда исследований, внесение азотных удобрений снижает способность лесных почв разлагать метан, тем не менее имеются и противоположные сведения. По всей видимости, небольшое повышение концентрации азота в лесных почвах существенно не повлияет на окисление метана, поэтому повышение эмиссии метана в атмосферу не будет значительным [14, 15].

Постоянно увеличивающаяся заготовка древесины для производства топлива может снизить продуктивность следующего поколения древостоя на бедных почвах. Предотвратить снижение продуктивности экосистем в будущем и, соответственно, эффективности угледепонирования можно путем сбора порубочных остатков и пней на достаточно плодородных участках или внесением минеральных удобрений. Воздействие заготовки пней на потоки углерода и окружающую среду мало изучено. Исследование влияния плантаций на угледепонирование находится на начальном уровне. Разрабатываются подходы к плантационному лесоводству, направленные как на максимизацию производства древесины, так и на накопление углерода. Потенциал смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетических культур зависит от значительного количества пространственно изменяющейся информации: почвы, климата, предыдущего управления земельными ресурсами, будущего землепользования, урожайности сельскохозяйственных культур, запасов остающегося после вырубки плантаций углерода, в том числе почвенного углерода и др. [13, 16, 17].

Увеличение абсорбции парниковых газов лесами Беларуси в среднесрочной перспективе может быть достигнуто совершенствованием самой системы лесоуправления и отдельных лесохозяйственных мероприятий, основные пути которого, по мнению авторов, приведены ниже.

Пересмотр и уточнение лесной политики и нормативных документов в стране каждые 3–5 лет на основе актуализированных данных по смягчению последствий изменения климата через накопление углерода и снижение его выбросов для адаптации действующих подходов к устойчивому ведению лесного хозяйства (устойчивому лесоуправлению). Повышение эффективности системы управления, в том числе расширение возможностей принятия решений на уровне лесохозяйственных предприятий и их структурных подразделений, постепенное увеличение доли лесозаготовок сторонними орга-

низациями с перспективой проведения ими в будущем основных видов рубок леса.

При получении лесного образования целесообразно внести в учебные планы и программы изучаемых дисциплин соответствующих специальностей дополнения и изменения, раскрывающие вопросы смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним лесного хозяйства, в том числе разработать новые учебные дисциплины, сделать анализ целесообразности внедрения новых технологий в сравнении с их эффективностью для изменения климата (например, при использовании генетической модификации древесных видов, которые лучше адаптированы к будущим условиям, и др.).

Сохранение существующих лесов, в том числе минимизация изъятия покрытых лесом земель, создание новых (увеличение лесистости) на землях, на которых ведение лесного хозяйства более эффективно. Увеличение оборота рубки, оптимизация возрастной структуры, исключение из лесопользования насаждений IV и более низких классов бонитета с целью сохранения лесами угледепонирующей функции. Корректирование площадей особо охраняемых природных территорий до их оптимальной доли в лесном фонде страны с учетом сохранения биологического разнообразия и угледепонирующей функции, а также социально-экономической составляющей лесохозяйственной отрасли. Адаптация подходов по сохранению биоразнообразия с учетом прогнозов будущего изменения климата (новые виды, альтернативные генотипы растений).

Оптимизация формационной структуры и породного состава древостоев с учетом прогнозов возможного изменения климата. Подбор древесных пород, более адаптированных к засухам, формирование сложных и смешанных древостоев. Пересмотр регионов рекомендуемого происхождения семян, используемых для лесовосстановления, чтобы семена «соответствовали» будущему климату. Увеличение количества древесных видов в составе и общей доли примеси (до 50%) для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников.

Увеличение доли несплошных рубок главного пользования в первую очередь за счет равномерно-постепенных, группово-постепенных, длительно-постепенных и добровольно-выборочных, предусмотрев для этого меры дополнительного стимулирования и расширения перечня возможных объектов их проведения: снижение действующих норм выработки на проведение лесосечных работ для лучшего сохранения лесной среды и финансовая ответственность лесозаготовителей за нарушение лесоводственных требований; содействие предварительному лесовозобновлению, в том числе с использованием специализированных машин и механизмов; уточнение и доработка организационно-технических элементов рубок и др.

Увеличение доли сплошнолесосечных рубок главного пользования с сохранением подроста (уменьшение норм количества подроста, подлежащего сохранению; стимулирование их проведения лесопользователями и усиление ответственности за некачественное выполнение рубок) или постепенный отказ от применения сплошных рубок без его сохранения. Дальнейшее использование и расширение экологически щадящих технологий рубок леса, конкретизация норм оставления деревьев для сохранения биологического разнообразия, формирования сложных по составу и структуре лесов нового поколения при проведении сплошных рубок главного пользования.

Увеличение повторяемости рубок ухода со снижением их интенсивности, отбор деревьев при рубках ухода в соответствии с классическими лесоводственными принципами. Поддержание высокой полноты древостоев и проведение рубок в зимнее время или летом в периоды без осадков для повышения устойчивости и снижения повреждаемости ельников. Увеличение прироста лесных насаждений возможно за счет использования минеральных удобрений, но риски распространения определенных патогенных микроорганизмов, ускорения развития корневой губки, снижения биологического разнообразия, ускорения эмиссии оксида азота лесными почвами и опосредованных отрицательных эффектов не дают возможность рекомендовать данное мероприятие в широкой лесохозяйственной практике для повышения углерододепонирования. Альтернативным вариантом является биологическая мелиорация.

Использование древесины для производства топлива (сучья, ветви и пни, дровяная древесина и др.) позволяет сократить выбросы парниковых газов за счет замещения ископаемого топлива, при этом наибольший эффект достигается при замене угля. Сбор порубочных остатков следует осуществлять после опадения с них хвои или листьев с оставлением в лесу не менее 30–50% их массы в зависимости от почвенного плодородия. В связи с противоречивыми данными о влиянии заготовки пней на поглощение углерода использование их в качестве топлива нецелесообразно. Консервация углерода в более долговечных изделиях и конструкциях вместо энергоемких материалов (бетон, сталь и т. д.), при производстве которых выделяется больше парниковых газов, и тем самым сокращение спроса на ископаемое топливо. Стимулирование максимального производства и использования товаров из древесины с вы-

сокой добавленной стоимостью и постоянное расширение их ассортимента на основе научных исследований и инноваций (новые строительные материалы, биопродукты, такие как антибиотики, биоактивные бумаги, биопластики, клеи, биопестициды, растительные лекарственные средства, биохимические вещества, промышленные ферменты и др.), т. е. развитие биоэкономики.

Развитие плантационного лесоводства должно быть направлено не только на максимизацию производства древесины, но и накопление углерода. Перспективным для смягчения выбросов парниковых газов биоэнергетическими культурами может быть их создание на нелесных землях государственного лесного фонда и других категориях земель. Планирование, строительство или модернизация производств по переработке древесины (в том числе второстепенных видов древесных пород) на основе будущей формационной структуры лесов.

**Заключение**. Мировое сообщество предпринимает ряд мер по предотвращению изменения климата, вызванного антропогенными факторами. Передовой международный опыт отдельных стран по смягчению последствий изменения климата базируется на нескольких стратегиях. Их подробный анализ позволил сформулировать ряд мероприятий по увеличению абсорбции парниковых газов лесами Беларуси в среднесрочной перспективе за счет совершенствования системы лесоуправления и отдельных лесохозяйственных мероприятий.

## Литература

1. Hoberg G., Peterson St-Laurent G., Schittecatte G., Dymond C. C. Forest carbon mitigation policy: a policy gap analysis for British Columbia // Forest Policy and Economics. 2016. No. 69. P. 73–82.

2. Королева Т. С., Шунькина Е. А. Обзор мирового опыта консервации углерода в существующих лесных резервуарах // Труды СПбНИИЛХ. 2014. № 4. С. 22–39.

3. Bellassen V., Luyssaert S. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times // Nature. 2014. No. 506 (7487). P. 153–155.

4. Keenan R. J. Forests and climate change: introduction to a special section // Forest Ecology and Management. 2016. No. 360. P. 353–356.

5. Олссон Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата // Устойчивое лесопользование. 2013. No. 2 (35). С. 36–45.

6. Keenan R. J. Climate change impacts and adaptation in forest manage-ment: a review // Annals of Forest Science. 2015. No. 72 (2). P. 145–167.

7. Thom D., Seidl R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests // Biological Reviews. 2016. No. 91. P. 760–781.

8. Писаренко А. И., Страхов В. В., Филипчук А. Н. Проблемы собственности и лесоуправления в зарубежных странах // Лесохоз. информ. 2004. № 9. С. 52–64.

9. Noormets A., Epron D., Domec J. C., McNulty S. G., Fox T., Sun G., King J. S. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis // Forest Ecology and Management. 2015. No. 355. P. 124–140.

10. Triebenbacher C. Das Borkenkaferjahr 2013 in Bayern: Buchdrucker und Kupferstecher haben die Latenz verlassen, Risiko fur 2014 gestiegen // Forstschutz Aktuell. 2014. No. 59. P. 23–27.

11. Temperli C., Bugmann H., Elkin C. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change // Ecological Applications. 2012. No. 22. P. 2065–2077.

12. Kasischke E. S., Christensen Jr. N. L., Stocks B. J. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forest // Ecological applications. 1995. No. 5. P. 437–451.

13. Grelle A. Skogens kolbalans bestams av upptag och utslapp // Sverige i nytt klimat – vatvarm utmaning. Formas Fokuserar. 2010. No. 16. P. 241–252.

14. Pyörälä P., Kellomäki S., Peltola H. Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use // Forest Ecology and Management. 2012. No. 275. P. 87–97.

15. Larsson S., Lundmark T., Ståhl G. Mojligheter till intensivodling av skog: Slutrapport regeringsuppdag. Jo 2008/1885. SLU, 2009. 138 p.

16. Gustavsson L., Haus S., Ortiz C. A., Sathre R., Le Truong N. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy // Applied Energy. 2015. No. 138. P. 36–50.

17. Hillier J., Whittaker C., Dailey G., Aylott M., Casella E., Richter G. M., Riche A., Murphy R., Taylor G., Smith P. Greenhouse gas emissions from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimates of yield and soil carbon balance in life cycle analyses // Bioenergy. 2009. No. 1 (4). P. 267–281.

## References

1. Hoberg G., Peterson St-Laurent G., Schittecatte G., Dymond C. C. Forest carbon mitigation policy: a policy gap analysis for British Columbia. *Forest Policy and Economics*. 2016, no. 69, pp. 73–82.

2. Koroleva T. S., Shun'kina E. A. Review of global carbon conservation practices in existing forest reservoirs. *Trudy SPbNIILKh* [Proceedings of SPbNIILH], 2014, no. 4, pp. 22–39 (In Russian).

3. Bellassen V., Luyssaert S. Carbon sequestration: Managing forests in uncertain times. *Nature*. 2014, no. 506 (7487), pp. 153–155.

4. Keenan R. J. Forests and climate change: introduction to a special section. *Forest Ecology and Management*. 2016, no. 360, pp. 353–356.

5. Olsson R. Use or protect? Boreal forests and climate change. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2013, no. 2 (35), pp. 36–45 (In Russian).

6. Keenan R. J. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science*. 2015, no. 72 (2), pp. 145–167.

7. Thom D., Seidl R. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*. 2016, no. 91, pp. 760–781.

8. Pisarenko A. I., Strakhov V. V., Filipchuk A. N. Problems of ownership and forest management in foreign countries. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2004, no. 9, pp. 52–64 (In Russian).

9. Noormets A., Epron D., Domec J. C., McNulty S. G., Fox T., Sun G., King J. S. Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. *Forest Ecology and Management*. 2015, no. 355, pp. 124–140.

10. Triebenbacher, C. Das Borkenkaferjahr 2013 in Bayern: Buchdrucker und Kupferstecher haben die Latenz verlassen, Risiko fur 2014 gestiegen. *Forstschutz Aktuell*. 2014, no. 59, pp. 23–27.

11. Temperli C., Bugmann H., Elkin C. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *Ecological Applications*. 2012, no. 22, pp. 2065–2077.

12. Kasischke E. S., Christensen Jr. N. L., Stocks B. J. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forest. *Ecological applications*. 1995, no. 5, pp. 437–451.

13. Grelle A. Skogens kolbalans bestams av upptag och utslapp. Sverige i nytt klimat – vatvarm utmaning. *Formas Fokuserar*. 2010, no. 16, pp. 241–252.

14. Pyörälä P., Kellomäki S., Peltola H. Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use. *Forest Ecology and Management*. 2012, no. 275, pp. 87–97.

15. Larsson S., Lundmark T., Ståhl G. Mojligheter till intensivodling av skog: Slutrapport regeringsuppdag. *Jo 2008/1885*. SLU, 2009. 138 p.

16. Gustavsson L., Haus S., Ortiz C. A., Sathre R., Le Truong N. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy. *Applied Energy*. 2015, no. 138, pp. 36–50.

17. Hillier J., Whittaker C., Dailey G., Aylott M., Casella E., Richter G. M., Riche A., Murphy R., Taylor G., Smith P. Greenhouse gas emissions from four bioenergy crops in England and Wales: Integrating spatial estimates of yield and soil carbon balance in life cycle analyses. *Bioenergy*. 2009, no. 1 (4), pp. 267–281.

## Информация об авторах

**Шиман Дмитрий Валентинович** − кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dms_lh@mail.ru

**Юшкевич Михаил Валентинович** − кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail:ymv@belstu.by

**Клыш Андрей Сергеевич** − кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: klysh@belstu.by

## Information about the authors

**Shiman Dmitriy Valentinovich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dms_lh@mail.ru

**Yushkevich Mikhail Valentinovich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ymv@belstu.by

**Klysh Andrey Sergeevich** – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: klysh@belstu.by

*Поступила 29.10.2018*