

УДК 630\*221:630\*114

**М. В. Юшкевич, Д. В. Шиман, Г. Я. Климчик, О. Г. Бельчина, А. С. Клыш**  
Белорусский государственный технологический университет

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ РУБОК ЛЕСА  
НА СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В ХВОЙНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ И ПОЧВЕ В УСЛОВИЯХ  
НЕГОРЕЛЬСКОГО УЧЕБНО-ОПЫТНОГО И МИНСКОГО ЛЕСХОЗОВ**

Определено содержание химических элементов (фосфора, калия, кальция, магния и азота) в лесных фитоценозах, лесной подстилке и почве в зависимости от проводимых рубок леса, направлений лесовосстановления и способов обращения с порубочными остатками. При рубках главного пользования происходит значительное по объему изъятие элементов из лесной экосистемы в основном за счет древесных стволов. Отличие постепенных от сплошнолесосечных рубок заключается в поэтапном выносе практически того же объема элементов. При этом накопленные в фитоценозе за оборот рубки элементы по своей массе в 2,9–3,7 раза превышают их запасы в лесной подстилке и почве (до 30 см). Удаление химических элементов с порубочными остатками не превышает 10% от их общего запаса в фитоценозе, лесной подстилке, почве и составляет 30–40% от содержания питательных элементов в лесной подстилке и почве (до 30 см). После рубок главного пользования масса зольных элементов и N в лесной подстилке и почве (до 30 см) не меньше, чем на участках средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев, где проводятся рубки. Вид рубки главного пользования, направление лесовосстановления и способ очистки мест рубок (удаление/неудаление порубочных остатков с лесосеки) не оказывают значительного влияния на почвенное плодородие и, предположительно, продуктивность следующего поколения древостоя.

**Ключевые слова:** рубка, фитоценоз, почва, химические элементы, порубочные остатки.

**Для цитирования:** Юшкевич М. В., Шиман Д. В., Климчик Г. Я., Бельчина О. Г., Клыш А. С. Некоторые особенности влияния рубок леса на содержание химических элементов в хвойных фитоценозах и почве в условиях Негорельского учебно-опытного и Минского лесхозов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 42–51.

**M. V. Yushkevich, D. V. Shiman, G. Ya. Klimchik, O. G. Bel'china, A. S. Klysh**  
Belarusian State Technological University

**SOME FEATURES OF THE INFLUENCE OF LOGGING  
ON THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN CONIFEROUS PHYTOCENOSES  
AND SOIL IN THE CONDITIONS OF THE NEGORELSKY  
EDUCATIONAL-EXPERIMENTAL AND MINSK FORESTRY ENTERPRISES**

The content of chemical elements (phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and nitrogen) in forest phytocenoses, forest floor, and soil was determined depending on the logging, reforestation directions, and methods of handling felling residues. In the case of main-use forests, there is a significant amount of removal of elements from the forest ecosystem, mainly due to tree trunk. The difference between gradual and continuous cutting is the gradual removal of almost the same volume of elements. At the same time, the elements accumulated in the phytocenosis during the felling cycle by their mass are 2.9–3.7 times higher than their reserves in the forest floor and soil (up to 30 cm). Removal of chemical elements with felling residues does not exceed 10% of their total stock in the phytocenosis, forest floor and soil and is 30–40% of the content of nutrients in the forest floor and soil (up to 30 cm). After logging of the main use, the mass of ash elements and N in the forest floor and soil (up to 30 cm) is not less than in the areas of medium-aged, Mature and Mature stands where logging is carried out. The type of main-use logging, the direction of reforestation, and the method of clearing logging sites (removal/non-removal of felling residues from the forest) do not significantly affect soil fertility and, presumably, the productivity of the next generation of stands.

**Key words:** felling, phytocenosis, soil, chemical elements, felling residues.

**For citation:** Yushkevich M. V., Shiman D. V., Klimchik G. Ya., Bel'china O. G., Klysh A. S. Some features of the influence of logging on the content of chemical elements in coniferous phytocenoses and soil in the conditions of the Negorelsky educational-experimental and Minsk forestry enterprises. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2021, no. 1 (240), pp. 42–51 (In Russian).

**Введение.** Лесовыращивание и заготовка древесины осуществляется с применением разнообразных рубок леса (рубок ухода за лесом, санитарных рубок, рубок главного пользования и др.). Наиболее сильное воздействие на лесную экосистему оказывают рубки главного пользования, результатом которых является полное (сплошнолесосечные рубки) или частичное (постепенные и выборочные рубки) удаление из экосистемы ее лесообразующего компонента – древостоя, уничтожение или повреждение других компонентов фитоценоза. После сплошнолесосечной рубки чаще всего временно прерывается средообразующая функция леса и возникает необходимость лесовосстановления. Смягчение стрессового воздействия главной рубки возможно при несплошных рубках леса. Кроме заготовки древесины на некоторых лесосеках производится сбор и удаление порубочных остатков для использования в качестве топлива и других целей. Заготовка древесины для производства топлива означает изъятие фитомассы из леса с последующим сжиганием. Разрушение древесины и эмиссия углекислого газа в атмосферу происходят быстрее, нежели при ее гниении в лесу. Если бы эта древесина осталась в лесу, то небольшая часть углерода, содержащегося в ней, в конечном итоге перешла бы в почву. Заготовка порубочных остатков также означает изъятие из лесной экосистемы питательных веществ, особенно когда порубочные остатки заготавливаются раньше, чем с них осыплется хвоя. Если при этом рост молодого поколения леса замедляется, интенсивность накопления углерода в фитомассе уменьшается. По данным некоторых исследований, заготовка сучьев и ветвей на лесосеке может приводить к снижению продуктивности следующего поколения древостоя на 6–32%. В тех случаях, когда заготовка порубочных остатков ведется при рубках ухода, темпы роста сокращаются на 11–26%. 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. Расчеты для среднеплодородных почв не показали снижения продуктивности из-за сбора фитомассы при отсутствии внесения удобрений в сравнении с участками, где не производился сбор [1–8].

В целом большинство исследователей сходятся во мнении, что изъятие порубочных остатков и (или) пней (пни часто не заготавливают, так как это более дорогостоящее мероприятие) не оказывает значимого влияния на продуктивность древостоя, успешность естественного возобновления и рост сеянцев, саженцев или подроста.

Однако на бедных почвах целесообразно оставление части хвои и листвы на лесосеке [9–19].

Цель исследования – установление содержания химических элементов в лесных насаждениях, лесной подстилке и почве при различных рубках леса, направлениях лесовосстановления и способах обращения с порубочными остатками с учетом целесообразности утилизационной очистки мест рубок. Исследования выполнены при разработке мероприятия 3.1.3.3 в рамках «Проекта развития лесного сектора Республики Беларусь» Всемирного банка и Глобального экологического фонда.

**Основная часть.** Для проведения исследований осенью 2018 г. в Литвянском лесничестве филиала УО БГТУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз» и Станьковском лесничестве ГЛУ «Минский лесхоз» было создано 16 опытных объектов (1–4 WB/GEF – сосняки кисличные, 5–8 WB/GEF – сосняки орляковые, 9–12 WB/GEF – ельники кисличные, 13–16 WB/GEF – ельники орляковые).

На объектах 1 и 2 WB/GEF осенью 2018 г. проведены вторые приемы равномерно-постепенных трехприемных рубок соответственно с разбрасыванием порубочных остатков и их полным удалением с лесосеки. Запасы древостоев уменьшились на 186 и 148 м<sup>3</sup>/га, т. е. интенсивность рубок составила 38 и 30%. Полнота древостоев снизилась с 0,82 до 0,57 и 0,58, состав древостоев практически не изменился.

На объектах 3 и 4 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. На объекте 3 WB/GEF были оставлены семенные деревья сосны в количестве 13 шт./га, запас которых составил 39,4 м<sup>3</sup>/га, на объекте 4 WB/GEF – деревья сосны, ели и березы в количестве 5, 15 и 2 шт./га (в качестве семенных деревьев, для сохранения биологического разнообразия и формирования смешанного древостоя) с общим запасом 27,2 м<sup>3</sup>/га.

На объектах 5 и 6 WB/GEF осенью 2018 г. проведены вторые приемы равномерно-постепенных трехприемных рубок соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. Запасы древостоев уменьшились на 120 и 141 м<sup>3</sup>/га (интенсивность рубок составила 26 и 30%). Полнота древостоев снизилась с 0,82 до 0,61 и 0,63.

На объектах 7 и 8 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки главного пользования соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. На объекте 7 WB/GEF были оставлены отдельные экземпляры сосны, ели, березы и осины в количестве 32 шт./га, запас которых

составил 39,3 м<sup>3</sup>/га, на объекте 8 WB/GEF – делянки сосны, ели, березы и осины в количестве 5, 14, 4 и 2 шт./га (в качестве семенных деревьев, для сохранения биологического разнообразия и формирования смешанного древостоя) с общим запасом 30,6 м<sup>3</sup>/га.

На объектах 9 и 10 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки главного пользования соответственно с полным удалением порубочных остатков и их сбором на лесосеке в валы. На объекте 9 WB/GEF оставлены отдельные экземпляры дуба в количестве 6 шт./га с запасом 1,2 м<sup>3</sup>/га, на объекте 10 WB/GEF вырублен весь древостой.

На объектах 11 и 12 WB/GEF осенью 2018 г. проведены первые приемы равномерно-постепенных трехприемных рубок соответственно с полным удалением порубочных остатков и их разбрасыванием на лесосеке. После рубок запасы древостоев составили 365 и 300 м<sup>3</sup>/га, т. е. уменьшились на 256 и 320 м<sup>3</sup>/га (интенсивность рубок – 41 и 52%). Полнота древостоев снизилась с 1,15 до 0,65 и 0,59.

На объектах 13 и 14 WB/GEF осенью 2018 г. проведены первые приемы равномерно-постепенных трехприемных рубок главного пользования соответственно с полным удалением порубочных остатков и их сбором в кучи. После рубок запасы древостоев составили 464 и 410 м<sup>3</sup>/га, т. е. уменьшились на 117 и 171 м<sup>3</sup>/га (интенсивность рубок – 20 и 29%). Полнота древостоев снизилась с 0,95 до 0,70 и 0,61.

На объектах 15 и 16 WB/GEF осенью 2018 г. проведены сплошнолесосечные рубки соответственно с полным удалением порубочных остатков и их сбором на лесосеке в валы. На участках были вырублены все деревья.

На всех объектах с проведенными сплошнолесосечными рубками созданы лесные культуры.

Для оценки возможности изъятия порубочных остатков при различных рубках леса и направлениях лесовосстановления без значительного влияния на содержание зольных элементов (фосфор, калий, кальций и магний) и азота в лесных почвах были подобраны опытные

и производственные объекты с проведенными лесохозяйственными мероприятиями (табл. 1).

Опытный объект 1-ГПР представляет собой участок, на котором проведены два из трех приемов группово-постепенной рубки. Объекты 1-РПР «а» (без пожара) и 1-РПР «б» (с низовым пожаром) представляют собой насаждения естественного происхождения, сформированные равномерно-постепенной четырехприемной рубкой. Для сравнения с этими участками подобран объект 1-СР с проведенной сплошной рубкой и последующим искусственным лесовосстановлением. На объектах 1-РО и 2-СР в 2006 г. были проведены соответственно первый прием рубки обновления и в дальнейшем сформирован древостой естественного происхождения и сплошная рубка с последующим искусственным лесовосстановлением. Объект 2-РПР представляет собой ельник естественного происхождения, сформированный равномерно-постепенной двухприемной рубкой. Для сравнения с этим участком подобран объект 3-СР с проведенной сплошной рубкой и последующим искусственным лесовосстановлением ели, которая в процессе природной сукцессии выпала из формирующегося древостоя и на участке образовался сосняк с примесью ели и березы.

При закладке пробных площадей и в процессе экспериментов (2018 г.) на опытных и производственных объектах с проведенными лесохозяйственными мероприятиями были использованы общепринятые в лесоводстве и лесной таксации методы исследований. В соответствии с разработанной РУП «Белгослес» методикой в аналитической лаборатории было определено содержание химических элементов в образцах почвы (0–30 см), лесной подстилки, древостоя, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова (ЖНП), взятых на изучаемых объектах. Наибольший запас анализируемых химических элементов в сосняках орляковых (объекты 5–8 WB/GEF) и сосняках кисличных (объекты 1–4 WB/GEF) содержится в древостое (от 24,7 до 25,9 т/га), что составляет более 99% от их запаса во всем фитоценозе. Значительную долю занимают Са (62,4%) и Mg (15,8%).

Таблица 1

## Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на исследованных объектах

Объект	Состав	Возраст, лет	Тип леса	Полнота	Бонитет	Количество деревьев, шт./га	Запас, м <sup>3</sup> /га
1-ГПР	10С + Б	119	С. мш.	0,32	II	85	167
1-РПР «а»	10С + Б	20	С. вер.	0,71	II	2917	64
1-РПР «б»	9С1Б			0,79		2917	81
1-СР	10С + Б	21	С. вер.	0,90	II	2450	63
1-РО	8С1Б1Ос	6	С. мш.	0,80	II	8250	7
2-СР	9С1Б	12	С. мш.	0,80	II	4960	12
2-РПР	7Е2С1Б + Д, Ос	40	Е. мш.	0,79	II	1940	126
3-СР	7С2Б1Е	20	С. ор.	0,69	I	2524	86

Меньше всего занимает N. Подрост и подлесок на рассматриваемых объектах практически полностью отсутствуют. ЖНП содержит всего 258 и 369 кг/га исследуемых элементов соответственно в сосняках орляковых и кисличных, что составляет 0,7–0,9% от их общего запаса в фитоценозе. Примерно половина этого запаса приходится на N, что отличает данный компонент от древостоя. Анализ содержания элементов по фракциям фитомассы древостоя показывает, что наибольший их запас в сосняках орляковых и кисличных (от 19,5 до 20,5 т/га) в стволах деревьев, что составляет около 79% от запаса во всем древостое. Доминирует Ca (63,1%). В хвое только 483 и 502 кг/га химических элементов соответственно в сосняках орляковых и кисличных. Чуть более 1/3 этого запаса приходится на N [20–22].

В лесной подстилке и почве сосняков кисличных находится 0,7 и 7,4 т/га питательных элементов соответственно, среди которых N занимает 69,2 и 38,8%. Запас химических элементов в лесной подстилке и почве составляет 30,8% от запаса элементов в фитомассе, что при полном ее удалении может удовлетворить потребность молодого древостоя в питательных элементах на протяжении 22 лет. Фактически после сплошной рубки обеспеченность может составить 32–33 года в зависимости от способа очистки мест рубок при условии оставления пней на лесосеке. В сосняках орляковых наблюдается аналогичная ситуация по запасу элементов питания в лесной подстилке и почве и обеспеченности ими молодых древостоев.

Вследствие исключительного преобладания запасов химических элементов в древостое по сравнению с другими компонентами соснового фитоценоза удаление порубочных остатков после проведения вторых приемов равномерно-постепенных трехприемных рубок не привело к уменьшению содержания элементов в сравнении с их оставлением. Уменьшение содержания элементов связано с интенсивностью рубок, и на

исследуемых объектах составило от 5,6/5,8 т/га соответственно с удалением/без удаления порубочных остатков в сосняках орляковых до 7,2/8,0 т/га в сосняках кисличных. Отличительной особенностью участков рубок с удалением порубочных остатков является больший вынос N на 5–7%, связанный с изъятием хвои (листвы) вместе с заготавливаемой биомассой.

В результате рубок неизбежно происходит повреждение и уничтожение части живого напочвенного покрова, что приводит к уменьшению количества химических элементов в сохранившемся травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом покрове (табл. 2).

Полное или практически полное (вследствие оставления семенных деревьев) удаление древостоя при сплошнолесосечных (сплошных) рубках привело к меньшему содержанию химических элементов в сосновых фитоценозах после удаления порубочных остатков в отличие от их оставления. Уменьшение содержания элементов составило от 20,0/18,1 т/га соответственно с удалением/без удаления порубочных остатков в сосняках орляковых до 21,6/19,7 т/га в сосняках кисличных. В среднем на объектах выносятся 81,0–81,5% исследуемых элементов при заготовке биомассы и 73,6–74,8% при ее оставлении на лесосеке. Как и на постепенных рубках, на участках без удаления порубочных остатков наблюдается меньший вынос N (61–64%). При заготовке биомассы данный показатель достигает 84–86%. При сплошных рубках практически полностью уничтожается живой напочвенный покров, что приводит к значительному уменьшению количества химических элементов в оставшихся на вырубке травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах (табл. 2). Через 1–3 года их запасы в живом напочвенном покрове восстанавливаются вследствие разрастания растений открытых мест обитания и сорных видов.

В результате сплошных рубок в сосняках вынос P и K превышает их запасы в лесной подстилке и почве в 1,4–1,8 раза, Mg – в 1,8–2,6 раза.

Таблица 2

**Содержание исследуемых элементов после рубок главного пользования  
в живом напочвенном покрове сосняков, кг/га**

Показатель	P	K	Ca	Mg	N
<b>Сосняки кисличные</b>					
До рубки	14	49	88	11	207
После постепенной рубки	5	17	31	4	72
После сплошной рубки	3	10	18	2	41
<b>Сосняки орляковые</b>					
До рубки	8	53	63	6	128
После постепенной рубки	3	19	22	2	45
После сплошной рубки	2	11	13	1	26

Существенно отличается изъятие Са, которое больше его остающейся массы в лесной подстилке и почве в 10,1–11,4 раза. Можно предположить, что фитоценоз и, прежде всего, древостой в процессе роста поглощает зольные элементы, особенно Са, из слоев почвы ниже 30 см, где, вероятно, есть значительные запасы питательных элементов. Содержание N, наоборот, в лесной подстилке и почве в 4,5–7,1 раза больше, чем его удаление при рубке.

Способ очистки мест рубок почти не оказывает влияния на запасы химических элементов в лесной подстилке и почве. Удаление порубочных остатков приводит к увеличению выносимой части элементов в среднем на 8–9% по сравнению с их оставлением на лесосеке. При этом вынос N существенно отличается от других элементов и составляет 27–30%.

В спелых сосновых фитоценозах до проведения рубок (1–8 WB/GEF) содержание элементов варьирует от 24,9 до 26,2 т/га и в процессе несплошной рубки уменьшается в соответствии с ее интенсивностью. После завершения рубок главного пользования и последующего формирования нового поколения леса запасы химических элементов относительно невелики (от 0,5 до 0,7 т/га), значительную их долю (около 30% на объекте 1-РО, 12% на объекте 2-СР) составляет живой напочвенный покров. Долевое участие ЖНП в запасах элементов к возрасту спелости древостоев уменьшается и редко превышает 1%. Различий в содержании элементов питания в сосновых фитоценозах в зависимости от способа лесовосстановления не наблюдается.

В лесной подстилке и почве сосняков вересковых (объекты 1-РПП «а», 1-РПП «б» и 1-СР) содержится 5,3, 4,7 и 6,1 т/га питательных элементов соответственно, среди которых на долю N приходится 38,2, 31,3 и 59,3%. Несмотря на практически полное удаление древостоя при сплошной рубке запасы химических элементов не меньше по сравнению с участком, где проведена равномерно-постепенная рубка. На объекте 1-РПП «б» (с лесным пожаром) содержится меньше на 11,0% питательных элементов по сравнению с объектом 1-РПП «а» (без пожара) за счет N (1,5 и 2,0 т/га соответственно). Запасы элементов на исследуемых объектах сопоставимы с постоянным пунктом учета (ППУ) РУП «Белгослес», расположенном в Старобинском лесхозе и имеющем схожую лесоводственно-таксационную характеристику.

В лесной подстилке и почве сосняков мшистых (объекты 1-ГПР, 1-РО и 2-СР) содержится 7,0, 12,8 и 8,8 т/га питательных элементов соответственно, среди которых на долю N приходится 44,7, 60,0 и 48,0%.

По полученным результатам исследований на рассматриваемых объектах не выявлено зависимости запасов химических элементов от вида проводимой ранее рубки, а также способа очистки лесосек. Содержание элементов на объектах в лесной подстилке и почве также сопоставимо с 22 ППУ РУП «Белгослес» в Минской области с похожей лесоводственно-таксационной характеристикой.

Как и у соснового фитоценоза, наибольший запас химических элементов в ельниках орляковых (объекты 13–16 WB/GEF) и кисличных (объекты 9–12 WB/GEF) в количестве 30,9 и 33,0 т/га, или 98,6 и 99,5%, содержится в древостое. Преобладают Са (62,1%), Mg (15,7%) и К (12,5 и 13,3%), на долю которых приходится в данных типах леса соответственно 90,3 и 91,2% от запаса всех элементов. Меньше всего содержится N. Подлесок на рассматриваемых объектах практически полностью отсутствует, а содержание элементов питания в подросте и ЖНП составляет 24 и 422 кг/га, 12 и 144 кг/га соответственно в ельниках орляковых и кисличных. От 50,7 до 74,9% запаса исследуемых элементов в ЖНП составляет N, что связано с его видовым составом в разных типах леса.

Наибольший запас рассматриваемых элементов в ельниках орляковых и кисличных (24,3 и 26,3 т/га) содержится в стволах деревьев и составляет около 80% от их запаса в древостое. Преобладает Са. Наименьшие запасы элементов содержатся в хвое – 824 и 847 кг/га соответственно в ельниках орляковых и кисличных. Около 1/3 приведенных запасов составляет N.

В лесной подстилке и почве ельников орляковых и кисличных находится 1,1/8,4 и 2,4/6,4 т/га питательных элементов соответственно, среди которых на долю N приходится около 50 и 60%. Запас зольных элементов и N в лесной подстилке и почве исследуемых типов леса составляет 30,2 и 26,7% от запаса элементов в фитомассе. В случае проведения сплошной рубки обеспеченность в элементах питания может составить 36 и 30 лет соответственно в ельниках орляковых и кисличных в зависимости от возможных вариантов очистки лесосек от порубочных остатков.

При первых приемах равномерно-постепенных рубок в ельниках удаление порубочных остатков не приводит к уменьшению содержания химических элементов. Причиной этого является преимущественное содержание рассматриваемых элементов в древостое и различная интенсивность рубок.

Уменьшение запасов элементов в травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах наблюдается в связи с их повреждением

и частичным уничтожением вследствие проведения подготовительных и основных лесосечных работ (табл. 3). Содержание химических элементов в ЖНП после проведения первых приемов рубок меньше на участках без удаления порубочных остатков из-за занимаемой их кучами части лесосеки.

После сплошных рубок с удалением порубочных остатков отмечено существенное уменьшение содержания химических элементов в еловых фитоценозах (с 31,4/33,2 т/га до 3,3/3,2 т/га соответственно в ельниках орляковых и кисличных). На участках без удаления порубочных остатков по сравнению с участками, где производилась их заготовка, отмечены более высокие запасы исследуемых элементов, в том числе Р, К, Са и Mg примерно в 2 раза, N – в 5–6 раз. Вынос химических элементов при заготовке порубочных остатков составляет примерно 90%, а при их оставлении на лесосеке – около 80%. На участках без удаления порубочных остатков наблюдается меньший вынос N (58%), а при их заготовке – достигает 93%.

Характерными особенностями сплошных рубок являются повреждение и уничтожение нижних ярусов растительности, резкое изменение микроклимата, что проявляется в уменьшении запасов элементов в сохранившихся ярусах ЖНП (табл. 3).

При сплошных рубках в ельниках вынос К больше его запаса в лесной подстилке и почве в 1,1–2,8 раза, Р – в 3,6–4,5 раза, а Mg – в 3,3–4,1 раза в ельниках орляковых. Значительно отличается изъятие Mg в ельниках кисличных, которое больше его остающейся массы в лесной подстилке и почве в 7,4–9,2 раза, а также Са – в 9,1–15,5 раза. Содержание N, как и в сосняках в лесной подстилке и почве ельников в 3,5–9,2 раза больше, чем его удаляется при сплошной рубке.

В ельнике мшистом (объект 2-РПП) содержание химических элементов в фитоценозе составляет 6,7 т/га, а в сосняке орляковом (объект 3-СР) – 4,7 т/га, при том, что рубка древостоев на обоих участках началась в 1989 г. На объекте 2-РПП на момент начала рубки под пологом древостоя произрастал крупный подрост ели, а на объекте 3-СР подрост отсутствовал, и созданные лесные культуры ели в последующие десятилетия практически полностью были вытеснены естественно возобновившейся сосной. Доля ЖНП в запасах элементов варьируется от 2,7% в сосновом фитоценозе до 4,8% в еловом. На объекте 2-РПП при проведении рубки порубочные остатки удалялись с лесосеки, но это не отразилось на продуктивности древостоя и, соответственно, содержании элементов.

В лесной подстилке и почве как ельника мшистого, так и сосняка орлякового содержится 7,2 т/га питательных веществ. Это несколько меньше, чем на объектах 1–4 WB/GEF и 5–8 WB/GEF в сосняках кисличных и сосняках орляковых (8,1 и 8,3 т/га), но сопоставимо, или иногда больше, чем на 21 ППУ РУП «Белгослес», расположенных в Минской области и имеющих похожую лесоводственно-таксационную характеристику, т. е. удаление порубочных остатков практически не повлияло на запасы элементов питания в лесной подстилке и почве.

Лесохозяйственная целесообразность заготовки древесины с использованием порубочных остатков определяется преимущественно лесоводственно-экологическими и экономическими аспектами. Лесоводственно-экологическая составляющая характеризуется влиянием заготовки порубочных остатков на углеродные потоки, динамику запаса элементов питания в лесной экосистеме, видовое разнообразие и др.

Таблица 3

**Запасы химических элементов при постепенной и сплошной рубке в живом напочвенном покрове еловых фитоценозов, кг/га**

Показатель	Р	К	Са	Mg	N
<b>Ельник кисличный</b>					
До рубки	5	20	40	6	73
После постепенной рубки с удалением порубочных остатков	5	18	36	5	66
После постепенной рубки без удаления порубочных остатков	4	15	30	5	55
После сплошной рубки с удалением порубочных остатков	–	1	3	–	5
После сплошной рубки без удаления порубочных остатков	–	1	2	–	4
<b>Ельник орляковый</b>					
До рубки	8	35	56	7	316
После постепенной рубки с удалением порубочных остатков	6	27	44	6	247
После постепенной рубки без удаления порубочных остатков	6	25	39	5	221
После сплошной рубки с удалением порубочных остатков	–	2	3	–	18
После сплошной рубки без удаления порубочных остатков	–	2	3	–	14

Экономический аспект выражается в замене традиционных источников энергии древесной биомассой, которая имеет ряд преимуществ (возможность ее заготовки недалеко от мест потребления вследствие возобновляемости данного ресурса, меньшее содержание в выбросах вредных веществ по сравнению с некоторыми другими видами топлива, относительно меньший выброс  $\text{CO}_2$  при сжигании и др.).

Рассмотрим баланс химических элементов в связи с рубкой, порубочными остатками и направлением лесовосстановления. Сплошная рубка приводит к удалению из лесной экосистемы порядка 20,0–30,0 т/га элементов при удалении порубочных остатков с лесосеки (т. е. от 60,6 до 71,3%) и 18,1–26,4 т/га при их оставлении (т. е. от 54,8 до 62,7%). Изъятие происходит в основном за счет древесных стволов. При постепенных рубках происходит поэтапный вынос практически того же объема химических элементов. Удаление порубочных остатков при сплошных рубках приводит к единовременному изъятию около 2,3 т/га исследуемых элементов в сосняках и около 3,5 т/га в ельниках, что не превышает 10% от их запаса в фитоценозах и составляет 30–40% от содержания в лесной подстилке и почве. Запасы элементов в лесной подстилке и почве через 10–30 лет после проведения рубок главного пользования и рубки обновления, в том числе на участках после удаления порубочных остатков (2-РПР), не меньше, чем на участках, где произрастают средневозрастные и более старые древостои, и находятся в пределах варьирования данного показателя в рассматриваемых типах леса, т. е. способ очистки мест рубок практически не влияет на содержание элементов питания в лесной подстилке и почве.

На участках с искусственным лесовосстановлением (1-СР и 2-СР) запасы элементов схожи с участками, где ориентировались на естественное возобновление. При этом отличия в запасе химических элементов в насаждениях искусственного и естественного происхождения можно объяснить тем, что результаты получены на различных объектах, заложенных в одинаковых типах леса (сосняк мшистый и вересковый). Тип леса – это категория, обладаю-

щая схожими, но вариативными (не константными) лесорастительными условиями, что и обуславливает некоторые отличия в содержании питательных элементов. Однако полученные данные не выходили за пределы средних показателей конкретного типа леса по данным анализа объектов сети мониторинга лесов (ППУ РУП «Белгослес»).

**Закключение.** При рубках главного пользования происходит значительное по объему изъятие химических элементов из лесной экосистемы (при сплошнолесосечных рубках единовременно, а при постепенных в зависимости от длительности периода рубки) в основном за счет стволовой древесины. При этом накопленные в фитоценозе за оборот рубки элементы по своей массе в 2,9–3,7 раза превышают их запасы в лесной подстилке и почве (до 30 см). Поэтому можно предположить, что фитоценоз и, прежде всего, древостой в процессе роста поглощает зольные элементы из слоев почвы ниже 30 см. Отличие постепенных от сплошнолесосечных рубок заключается в поэтапном выносе практически того же объема элементов.

Удаление химических элементов с порубочными остатками не превышает 10% от их общего запаса в фитоценозе, лесной подстилке и почве и составляет 30–40% от содержания питательных элементов в лесной подстилке и почве (до 30 см). После рубок главного пользования масса зольных элементов и N в лесной подстилке и почве (до 30 см) не меньше, чем на участках средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев, где проводятся рубки. Таким образом, вид рубки главного пользования, направление лесовосстановления и способ очистки мест рубок (удаление/неудаление порубочных остатков с лесосеки) не оказывают значительного влияния на почвенное плодородие и, предположительно, продуктивность следующего поколения древостоя. Тем не менее с учетом постоянного выноса химических элементов из лесной экосистемы (при рубках ухода за лесом, санитарных рубках, рубках главного пользования и других мероприятиях) необходимо ограничивать, прежде всего, на бедных почвах объем изъятия лесосечных отходов, а также удалять их только после опадения хвои (или листвы) с порубочных остатков.

### Список литературы

1. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2005–2011: Preliminär rapport / J. de Jong [et al.] // Statens Energimyndighet, 2012. 218 p.
2. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous forest stands / S. Jacobson [et al.] // Forest. Ecol. Management. 2000. Vol. 129. P. 41–51.

3. Hotspots of the European carbon cycle / G. J. Nabuurs [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 256. P. 194–200.
4. Effects of climate change and management on net climate impacts of production and utilization of energy biomass in Norway spruce with stable age-class distribution // *Global Change Biology Bioenergy*. 2016. Vol. 8, issue 2. P. 419–427.
5. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels // *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35, issue 7. P. 2506–2516.
6. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent radiative forcing effects of forest fertilization and biomass substitution // *Biogeochemistry*. 2012. Vol. 109, issue 1–3. P. 203–218.
7. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy / L. Gustavsson [et al.] // *Applied Energy*. 2015. Vol. 138. P. 36–50.
8. Torvelainen J., Ylitalo E., Nouro P. Puun energiakäyttö 2013 // *Metsätilastotiedote* (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous). 2014. No. 31. P. 7.
9. Metsänhoidon suositukset / O. Äijälä [et al.]. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkustannus Oy, 2014. 181 p.
10. Egnell G. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 27–36.
11. Egnell G. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 371. P. 42–49.
12. Jurevics A., Peichl M., Egnell G. Stand Volume Production in the Subsequent Stand during Three Decades Remains Unaffected by Slash and Stump Harvest in Nordic Forests // *Forests*. 2018. Vol. 9. P. 770.
13. Effects of stump harvesting on soil C and N stocks and vegetation 8–13 years after clear-cutting / R. Hyvönen [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2016. Vol. 371. P. 23–32.
14. Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable? / J. de Jong [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 3–16.
15. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – a meta-analysis / D. L. Achat [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 348. P. 124–141.
16. Criteria and guidance considerations for sustainable tree stump harvesting in British Columbia / S. M. Berch [et al.] // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2012. Vol. 27, issue 8. P. 709–723.
17. De Jong J., Dahlberg A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 37–48.
18. Impact of whole-tree harvest on soil and stream water acidity in southern Sweden based on HD-MINTEQ simulations and pH-sensitivity / S. Löfgren [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 49–60.
19. Does the harvest of logging residues and wood-ash recycling affect the mobilization and bioavailability of trace metals? / B. A. Olsson [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2017. Vol. 383. P. 61–72.
20. Жилкин Б. Д., Григорьев В. П., Рожков Л. Н. Исследование влияния люпина на азотное и минеральное питание ели // *Агрохимия*. 1970. № 11. С. 14–20.
21. Жилкин Б. Д., Григорьев В. П., Рожков Л. Н. Исследование биологического круговорота азота и зольных элементов в еловых фитоценозах с междурядной культурой люпина // *Лесоведение и лесное хозяйство*. 1971. Вып. 4. С. 13–21.
22. Жилкин Б. Д., Григорьев В. П., Рожков Л. Н. Опыт улучшения азотного и минерального питания ели обыкновенной культурой люпина многолетнего // *Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов*. Петрозаводск, 1972. С. 94–110.

## References

1. De Jong J., Akselsson C., Berglund H., Egnell G., Gerhardt K., Lönnberg L., Olsson B., Von Stedingk H. Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle. En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2005–2011: Preliminär rapport. *Statens Energimyndighet*, 2012. 218 p.
2. Jacobson S., Kukkola M., Mälkönen E., Tveite B. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous forest stands. *Forest. Ecol. Management*, 2000, vol. 129, pp. 41–51.
3. Nabuurs G. J., Thürig E., Armolaitis K. Hotspots of the European carbon cycle. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 256, pp. 194–200.



4. Torssonen P., Peltola H., Strandman H., Kilpeläinen A. Effects of climate change and management on net climate impacts of production and utilization of energy biomass in Norway spruce with stable age-class distribution. *Global Change Biology Bioenergy*, 2016, vol. 8, issue 2, pp. 419–427.
5. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35, issue 7, pp. 2506–2516.
6. Sathre R., Gustavsson L. Time-dependent radiative forcing effects of forest fertilization and biomass substitution. *Biogeochemistry*, 2012, vol. 109, issue 1–3, pp. 203–218.
7. Gustavsson L., Haus S., Ortiz C., Sathre R., Truong N. Le. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy. *Applied Energy*, 2015, vol. 138, pp. 36–50.
8. Torvelainen J., Ylitalo E., Nouro P. Puun energiakäyttö 2013. *Metsätilastiedote (SVT Maa-, metsä- ja kalatalous)*, 2014, no. 31, p. 7.
9. Äijälä O., Koistinen A., Sved J., Vanhatalo K., Väisänen P. Metsänhoidon suositukset. Helsinki, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkustannus Oy, 2014. 181 p.
10. Egnell G. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 27–36.
11. Egnell G. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 371, pp. 42–49.
12. Jurevics A., Peichl M., Egnell G. Stand Volume Production in the Subsequent Stand during Three Decades Remains Unaffected by Slash and Stump Harvest in Nordic Forests. *Forests*, 2018, vol. 9, pp. 770.
13. Hyvönen R., Kaarakka L., Leppälampi-Kujansuu J., Olsson B. Effects of stump harvesting on soil C and N stocks and vegetation 8–13 years after clear-cutting. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 371, pp. 23–32.
14. De Jong J., Akselsson C., Gustaf E., Löfgren S. Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable? *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 3–16.
15. Achat D. L., Deleuze C., Landmann G., Pousse N., Ranger J., Augusto L. Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – a meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 348, pp. 124–141.
16. Berch S. M., Curran M., Dymond C., Hannam K., Murray M., Tedder S., Titus B., Todd M. Criteria and guidance considerations for sustainable tree stump harvesting in British Columbia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2012, vol. 27, issue 8, pp. 709–723.
17. De Jong J., Dahlberg A. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 37–48.
18. Löfgren S., Agren A., Gustafsson J. P., Olsson B. Impact of whole-tree harvest on soil and stream water acidity in southern Sweden based on HD-MINTEQ simulations and pH-sensitivity. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 49–60.
19. Olsson B., Akerblom S., Bishop K., Eklöf K. Does the harvest of logging residues and wood-ash recycling affect the mobilization and bioavailability of trace metals? *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 383, pp. 61–72.
20. Zhilkin B. D., Grigor'ev V. P., Rozhkov L. N. Study of the effect of lupine on the nitrogen and mineral nutrition of spruce. *Agrokhimiya [Agrochemistry]*, 1970, no. 11, pp. 14–20 (In Russian).
21. Zhilkin B. D., Grigor'ev V. P., Rozhkov L. N. The study of the biological cycle of nitrogen and ash elements in plant communities of spruce with a row of lupine culture. *Lesovedeniye i lesnoye khozyaystvo [Forest science and forestry]*, 1971, no. 4, pp. 13–21 (In Russian).
22. Zhilkin B. D., Grigor'ev V. P., Rozhkov L. N. Experience in improving the nitrogen and mineral nutrition of spruce with a common culture of lupine perennial. *Pitaniye drevesnykh rasteniy i problema povysheniya produktivnosti lesov [Nutrition of woody plants and the problem of increasing forest productivity]*. Petrozavodsk, 1972, pp. 94–110 (In Russian).

#### Информация об авторах

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

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

**Климчик Геннадий Яковлевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: les@belstu.by

**Бельчина Олеся Григорьевна** – ассистент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: belchyna@belstu.by

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

#### **Information about the authors**

**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: les@belstu.by

**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: les@belstu.by

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

**Bel'china Olesia Grigorievna** – Master's degree student, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belchyna@belstu.by

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

*Поступила 27.10.2020*