

ДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В СВЯЗИ С РУБКАМИ, СПОСОБАМИ ОБРАЩЕНИЯ С ПОРУБОЧНЫМИ ОСТАТКАМИ И НАПРАВЛЕНИЯМИ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Клыш А.С., Юшкевич М.В., Шиман Д.В.

*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет»
(г. Минск, Беларусь)*

Установлено содержание элементов минерального питания (фосфор, калий, кальций, магний и азот) в лесных насаждениях, лесной подстилке и почве в зависимости от рубок леса, способов обращения с порубочными остатками и направлений лесовосстановления. Значительное по объему изъятие элементов из лесной экосистемы при рубках главного пользования происходит преимущественно за счет древесных стволов. При постепенных рубках наблюдается поэтапный вынос почти такого же объема химических элементов, как и на сплошнолесосечных. По своей массе накопленные в насаждении за оборот рубки элементы в 2,9-3,7 раза превышают их запасы в лесной подстилке и почве (до 30 см). Вынос элементов минерального питания с порубочными остатками не превышает 10% от их общего запаса в фитоценозе, лесной подстилке и почве и составляет 30-40% от содержания элементов в лесной подстилке и почве (до 30 см). Масса зольных элементов и азота в лесной подстилке и почве (до 30 см) после рубок главного пользования не меньше, чем на участках средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев с проводимыми лесохозяйственными мероприятиями. Направления лесовосстановления, способы обращения с порубочными остатками и виды рубок главного пользования не оказывают значительного влияния на плодородие лесных почв.

ВВЕДЕНИЕ

В лесном хозяйстве применяются различные рубки леса (рубки главного пользования, рубки ухода за лесом, выборочные и сплошные санитарные рубки и др.). Наиболее сильно влияют на лесную экосистему 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. При этом разрушение древесины и эмиссия углекислого газа в атмосферу происходят быстрее, чем 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 пору-

бочных остатков также означает изъятие из лесной экосистемы элементов минерального питания, 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 [1-10].

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 подростка. Однако на бедных почвах целесообразно оставление части хвои и листвы на лесосеке [11-23].

Цель исследования – установление содержания и динамики элементов минерального питания в лесных насаждениях, лесной подстилке и почве при различных рубках леса, способах обращения с порубочными остатками и направлениях лесовосстановления.

Исследования выполнены при разработке мероприятия 3.1.3.3 в рамках «Проекта развития лесного сектора Республики Беларусь» Всемирного банка и Глобального экологического фонда.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно программе 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 м³/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 м³/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 м³/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 м³/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 м³/га, на объекте 8 WB/GEF – деревья 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 м³/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 м³/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 м³/га, т.е. уменьшились на 256 и 320 м³/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 м³/га, т.е. уменьшились на 117 и 171 м³/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 минеральных элементов (фосфор, калий, кальций и магний) и азота в лесных почвах были подобраны опытные и производственные объекты с проведенными лесохозяйственными мероприятиями (таблица 1).

Опытный объект 1-ГПП представляет собой участок, на котором проведены два из трех приемов группово-постепенной рубки. Объекты 1-РПП «а»

(без пожара) и 1-РПП «б» (с низовым пожаром) представляют собой насаждения естественного происхождения, сформированные равномерно-постепенной четырехприемной рубкой.

Таблица 1 – Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на исследованных объектах

Объект	Состав	Возраст, лет	Тип леса	Полнота	Бонитет	Количество деревьев, шт./га	Запас, м ³ /га
1-ГПП	10С+Б	119	С. мш.	0,32	II	85	167
1-РПП «а»	10С+Б	20	С. вер.	0,71	II	2917	64
1-РПП «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-РПП	7Е2С1Б+Д, Ос	40	Е. мш.	0,79	II	1940	126
3-СР	7С2Б1Е	20	С. ор.	0,69	I	2524	86

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-РПП 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 исследованиях (2018 г.) на опытных и производственных объектах с проведенными лесохозяйственными мероприятиями использованы общепринятые в лесоводстве и лесной таксации методы исследований. В соответствии с разработанной РУП «Белгослес» методикой в аналитической лаборатории было определено содержание элементов минерального питания в образцах почвы (0-30 см), лесной подстилки, древостоя, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова (ЖНП), взятых на изучаемых объектах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наибольший запас анализируемых 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%). Меньше всего занимает N. Подрост и подлесок на рассматриваемых объектах практиче-

ски 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 элементов питания соответственно в сосняках орляковых и кисличных. Чуть более 1/3 этого запаса приходится на N [24-26].

В лесной подстилке и почве сосняков кисличных находится 0,7 и 7,4 т/га элементов минерального питания соответственно, среди которых N занимает 69,2 и 38,8%. Запас элементов в лесной подстилке и почве составляет 30,8% от их запаса в фитоценозе. В сосняках орляковых наблюдается аналогичная ситуация по запасу элементов питания в лесной подстилке и почве.

Вследствие исключительного преобладания запасов элементов минерального питания 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 питательных элементов в сохранившемся травяно-кустарничковом и мохово-лишайниковом покрове (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание исследуемых элементов после рубок главного пользования в живом напочвенном покрове сосняков, кг/га

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

Полное или практически полное (вследствие оставления семенных деревьев) удаление древостоя при сплошнолесосечных (сплошных) рубках

привело к меньшему содержанию исследуемых 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% 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 (таблица 2). Через 1-3 года их запасы в живом напочвенном покрове восстановятся 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. Существенно отличается изъятие Ca, 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 Ca, 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-РПР «а», 1-РПР «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-РПР «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 данными, полученными на постоянных пунктах учета (ППУ) РУП «Белгослес», имеющих близкую лесоводственно-таксационную характеристику.

В лесной подстилке и почве сосняков мшистых (объекты 1-ГПП, 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 не выявлено зависимости запасов элементов минерального питания 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» с близкой лесоводственно-таксационной характеристикой.

Наибольший запас питательных 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%, как и у соснового фитоценоза, 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 и 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.

При первых приемах равномерно-постепенных рубок в ельниках удаление порубочных остатков не приводит к уменьшению содержания элементов питания. 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 (таблица 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).

Таблица 3 – Запасы элементов минерального питания при постепенной и сплошной рубке в живом напочвенном покрове еловых фитоценозов, кг/га

Показатель	P	K	Ca	Mg	N
Ельник кисличный					
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
Ельник орляковый					
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

На участках без удаления порубочных остатков по сравнению с участками, где производилась их заготовка, отмечены более высокие запасы исследуемых элементов, в том числе P, K, Ca 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 (таблица 3).

При сплошных рубках в ельниках вынос K больше его запаса в лесной подстилке и почве в 1,1-2,8 раза, P – 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 Ca – 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-РПР) содержание исследуемых 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-РПР 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-РПР 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», имеющих близкую 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.

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 CO₂ при сжигании и др.).

Рассмотрим динамику элементов минерального питания 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 старшие 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 элементов питания 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, обладающая 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 содержания элементов минерального питания на объектах сети мониторинга лесов (ППУ РУП «Белгослес»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из лесной экосистемы в результате рубок главного пользования происходит значительное по объему изъятие элементов минерального питания (при сплошнолесосечных рубках одновременно, а при постепенных поэтапно выносятся практически тот же объем) в основном за счет стволовой древесины. 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.

С порубочными остатками удаляется не более 10% элементов питания от их общего запаса в фитоценозе, лесной подстилке и почве, что составляет 30-40% от содержания 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, способ очистки мест рубок (удаление/неудаление порубочных остатков с лесосеки) и направление лесовосстановления не оказывают значительного влияния на почвенное плодородие и, предположительно, продуктивность следующего поколения древостоя. Постоянный вынос элементов минерального питания из лесной экосистемы (при рубках ухода за лесом, санитарных рубках, рубках главного пользования и других мероприятиях) может вызвать необходимость ограничивать, прежде всего, на бедных почвах объем изъятия лесосечных отходов, а также удалять их только после опадения хвои (или листвы) с порубочных остатков.

ЛИТЕРАТУРА

1. De Jong, J. Konsekvenseravett ökatuttagavskogsbränsle. En syntes fran Energimyndighetens bränsleprogram 2005-2011: Preliminar rapport / J. de Jong [et al.] // Statens Energimyndighet. – 2012. – 218 p.
2. Jacobson, S. 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. Nabuurs, G.J. Hotspots of the European carbon cycle / G.J. Nabuurs [et al.] // Forest Ecology and Management. – 2008. – Vol. 256. – P. 194-200.
4. Torssonen, P. 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 / P. Torssonen [et al.] // Global Change Biology Bioenergy. – 2016. – Vol. 8, issue 2. – P. 419-427.

5. Sathre, R. Time-dependent climate benefits of using forest residues to substitute fossil fuels / R. Sathre, L. Gustavsson // *Biomass and Bioenergy*. – 2011. – Vol. 35, issue 7. – P. 2506-2516.
6. Sathre, R. Time-dependent radiative forcing effects of forest fertilization and biomass substitution / R. Sathre, L. Gustavsson // *Biogeochemistry*. – 2012. – Vol. 109, issue 1-3. – P. 203-218.
7. Gustavsson, L. 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. Puun energiakäyttö 2013 / J. Torvelainen, E. Ylitalo, P. Nouro // *Metsätilastotiedote (SVT Маа-, metsä- ja kalatalous)*. – 2014. – No. 31. – P. 7.
9. Шатравко, В.Г. Экологические и экономические аспекты использования порубочных остатков / В.Г. Шатравко // *Труды БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во*. – Вып. XX. – Минск, 2012. – С. 130-132.
10. Шатравко, В.Г. Исследования минеральных элементов в порубочных остатках насаждений основных лесообразующих пород Беларуси / В.Г. Шатравко // *Труды БГТУ. Сер. I. Лесн. хоз-во*. – Вып. XXI. – Минск, 2013. – С. 117-119.
11. Äijälä, O. Metsänhoidon suositukset / O. Äijälä [et al.]. – Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkustannus Oy, 2014. – 181 p.
12. Egnell, G. A review of Nordic trials studying effects of biomass harvest intensity on subsequent forest production / G. Egnell // *Forest Ecology and Management*. – 2017. – Vol. 383. – P. 27-36.
13. Egnell, G. Effects of slash and stump harvesting after final felling on stand and site productivity in Scots pine and Norway spruce / G. Egnell // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 371. – P. 42-49.
14. Jurevics, A. Stand Volume Production in the Subsequent Stand during Three Decades Remains Unaffected by Slash and Stump Harvest in Nordic Forests / A. Jurevics, M. Peichl, G. Egnell // *Forests*. – 2018. – Vol. 9. – P. 770.
15. Hyvönen, R. 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.
16. De Jong, J. 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.
17. Achat, D.L. 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.
18. Berch, S.M. 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.
19. De Jong, J. Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes / J. de Jong, A. Dahlberg // *Forest Ecology and Management*. – 2017. – Vol. 383. – P. 37-48.

20. Löfgren, S. 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.

21. Olsson, B.A. 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.

22. Шиман, Д.В. Пути увеличения абсорбции парниковых газов лесами Беларуси / Д.В. Шиман, М.В. Юшкевич, А.С. Клыш // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – Минск: БГТУ, 2019. – № 1 (216). – С. 42-47.

23. Лесоуглеродный ресурс Беларуси: монография / Л.Н. Рожков [и др.]. – Минск: БГТУ, 2018. – 246 с.

24. Жилкин, Б.Д. Исследование влияния люпина на азотное и минеральное питание ели / Б.Д. Жилкин, В.П. Григорьев, Л.Н. Рожков // Агрехимия. – 1970. – №11. – С. 14-20.

25. Жилкин, Б.Д. Исследование биологического круговорота азота и зольных элементов в еловых фитоценозах с междурядной культурой люпина / Б.Д. Жилкин, В.П. Григорьев, Л.Н. Рожков // Лесоведение и лесное хозяйство. – 1971. – Вып. 4. – С. 13-21.

26. Жилкин, Б.Д. Опыт улучшения азотного и минерального питания ели обыкновенной культурой люпина многолетнего / Б.Д. Жилкин, В.П. Григорьев, Л.Н. Рожков // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. – Петрозаводск, 1972. – С. 94-110.

DYNAMICS OF MINERAL NUTRITION ELEMENTS IN CONNECTION WITH FELLING, METHODS OF HANDLING FELLING WASTE AND DIRECTIONS OF REFORESTATION

Klysh A.S., Yushkevich M.V., Shyman D.V.

The content of elements of mineral nutrition (phosphorus, potassium, calcium, magnesium and nitrogen) in forest stands, forest litter and soil was determined depending on felling, methods of handling felling waste and directions of reforestation. A significant amount of removal of elements from the forest ecosystem during felling of the main use occurs mainly due to tree trunks. With gradual felling, there is a gradual removal of almost the same volume of chemical elements as on clear felling. By their mass, the elements accumulated in the stand during the felling cycle are 2.9-3.7 times higher than their reserves in the forest litter and soil (up to 30 cm). The removal of elements of mineral nutrition with felling waste does not exceed 10% of their total stock in the phytocenosis, forest litter and soil and is 30-40% of the content of elements in the forest litter and soil (up to 30 cm). The mass of ash elements and nitrogen in the forest litter and soil (up to 30 cm) after felling of the main use is not less than in the areas of medium-aged, maturing and ripe stands with ongoing forestry activities. Directions of reforestation, methods of handling felling residues and types of felling of the main use do not have a significant impact on the fertility of forest soils.

Статья поступила в редколлегию 26.04.2021 г.

