

ЗАПАС И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИВНЯКОВ В ПРИУСЛОВНОЙ ПОЙМЕ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

А.Ю. Килушев¹, Н.В. Килушева¹, П.А. Феклистов²

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 17

²ФИЦКИА УрО РАН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики УрО РАН имени академика Н.П. Лаврова, 163000, Россия, г. Архангельск наб. Сев. Двины, д. 109

yorick282@yandex.ru

Методом калориметрии получены данные по энергетической емкости образцов фитомассы по видам и в целом на пробных площадях в пересчете на 1 га, а также по видовому составу насаждений ивы, возникших естественным путем, в различных условиях произрастания. Изучено распространение, условия произрастания естественных ценозов ивы (*S. triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.). Выявлена возрастная структура ивняков по видам, фитомасса — по возрастам. Проведена оценка состояния древесных растений. Определено содержание энергии в 1 г древесины по видам. Сравнение скорости накопления энергии в ивняках с сосновым древостоем показано, что ивняки достаточно эффективно накапливают энергию, в частности большим энергетическим потенциалом в естественных ценозах обладает *S. acutifolia* Willd., далее следует *S. triandra* L. Самым низким показателем энергоемкости образцов характеризуется *S. viminalis* L. Установлено, что ивняки, состоящие из ивы трехтычинковой и прутьевидной, обладают наивысшим энергетическим потенциалом. Сделан вывод о том, что иву можно рекомендовать в качестве источника энергии, несмотря на не решенные проблемы, поскольку она имеет энергетическую продуктивность биомассы, дающей экологические преимущества с точки зрения истощения запасов ископаемого топлива.

Ключевые слова: ивовые насаждения, калориметрия, фитомасса, энергетический потенциал, продуктивность

Ссылка для цитирования: Килушев А.Ю., Килушева Н.В., Феклистов П.А. Запас и энергоемкость ивняков в приусловной пойме реки Северная Двина // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 4. С. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-19-25

В последние годы особый интерес имеет получение древесины ивы для нужд биоэнергетики, в связи с чем селекционным путем создаются специальные быстрорастущие сорта или клоны. В европейских странах в настоящее время широко практикуется создание специальных энергетических плантаций быстрорастущих пород древесины тополя и ивы. Энергетические плантации предупреждают эрозию почвы, способствуют улучшению состояния окружающей среды. Преобладающее количество ивовых ценозов занимает специфические места обитания — поймы рек, гидроморфные понижения. Род ива имеет обширное видовое разнообразие, а также разностороннее применение биомассы [1]. Хозяйственную ценность имеют практически все компоненты фитомассы ивы, что дает возможность использовать комплексно и естественные, и искусственные ее насаждения [2].

Онтогенетические учеты популяций ив (*Salix triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.) на молодых участках поймы исследованы учеными Т.Ю. Браславской и А.С. Паховым в целях изучения популяционных механизмов первичной сукцессии древесной растительности [3]. Авторы определили и проанализировали связь между характеристикой местообитаний и популяционной плотностью ивы различного онтогенетического

состояния и уровня жизнеспособности, а также изменчивость в распределении по местоположению и количеству видов, причиной чего является изменчивость сроков половодья и особенности десеминации видов (сроков, локальной интенсивности).

Виды *S. viminalis* L. и *S. acutifolia* Willd. имеют тесную связь популяционной плотности с высотой местоположения, а вид *S. triandra* L. имеет тесную связь популяционной плотности с растительным покровом.

Закономерности накопления запаса стволовой древесины и изменения санитарного состояния с возрастом древостоев ивы, произрастающей в поймах средних и малых рек Центрального Черноземья, изучены А.И. Горобцом [4]. Интенсивный прирост ивы ломкой по высоте и по диаметру отмечен в возрасте до 30 лет, а прирост по объему и интенсивное увеличение запаса — с 10 до 30 лет.

В поймах рек Центрального Черноземья, в том числе р. Дон, преобладают ивы возрастом 30 лет категории состояния «здоровые» (67%), остальные деревья являются ослабленными. Молодняки в возрасте до 30 лет признаков ослабленности не имеют. Результаты исследований позволяют сравнить их с данными распределения запаса и изменения санитарного состояния ивы в поймах рек Архангельской области.

Ввиду снижения запасов ископаемого топлива в мировой практике ведется поиск альтернативных источников энергии. Одним из таких источников может стать биомасса быстрорастущих пород, например ивы. Представители рода *Salix* L. способны давать большую продуктивность.

Древесина является наиболее широко используемым видом биомассы для выработки тепловой и электрической энергии [5–9]. Изучение потенциала быстрорастущих подвидов и гибридов ивы ныне активно проводится в таких зарубежных странах, как Швеция, Канада, Польша и др. В этой связи особый интерес представляет ива. Это растение способно произрастать в условиях повышенной увлажненности и на разных типах почв с различными условиями плодородия. Рост побегов ивы прямо зависит от погоды и влажности почвы. Лучшего роста ива достигает в хорошо дренированных местах.

В северных регионах особый интерес вызывают посадки быстрорастущей ивы. Они используются также и в природоохранных целях:

- в качестве вегетативных фильтров для предотвращения загрязнения водоемов остатками удобрений и пестицидов;
- для противозерозионных мероприятий;
- рекультивации загрязненных земель;
- создания снегозадерживающих и ветроломных полос.

Такой подход оправдывает выделение субсидий для производителей энергии из биомассы ивы.

Возделывание быстрорастущих древесных насаждений позволяет получать древесину, которую можно использовать в качестве источника энергии на четвертый год после посадки плантации. Среднегодовой урожай при четырехлетней ротации ивы в соответствии с результатами, достигнутыми в некоторых зарубежных странах, может достигать до 10–15 т древесины влажностью 10 % с 1 га (Швеция, США, Канада) [10]. Швеция и Польша считаются лидерами селекции энергетической ивы в Европе.

При анализе энергетического потенциала к биомассе относят все формы материалов растительного происхождения, которые можно использовать для получения энергии. Биомасса сравнивается с углем, однако ее зольность значительно ниже, чем угля. Обычно биомассу ошибочно причисляют к низкосортным видам топлива, тем не менее она обеспечивает большую гибкость снабжения энергоносителями [11, 12].

Sara González-García, Blas Mola-Yudego и Richard J. Murphy описывают методологию оценки жизненного цикла (LCA) для сравнения ее экологического профиля с традиционными альтернативами на основе ископаемого топлива и

биомассы в качестве лигноцеллюлозного источника энергии. Авторы провели исследования на коммерческих плантациях ивы для выращивания биомассы в Швеции [13]. По проведенным расчетам, биомасса шведской ивы является энергоэффективной, и эта биомасса для энергии (независимо от типа энергии) обладает экологическими преимуществами с точки зрения сокращения выбросов в атмосферу и истощения запасов ископаемого топлива. Применение исследуемых энергетических систем может сократить добычу ископаемых видов топлива до 80 %.

В Вологодской обл. исследователи определили количество энергии, аккумулированной фитомассой культур сосны, которое в 10-летнем возрасте изменяется в пределах 95 120...129 540 МДж/га, в зависимости от типа леса [14]. Подобные исследования в Архангельской области, в частности по определению энергетического потенциала ивовых насаждений, никогда не проводились. Важность такого исследования заключается в том, что биомасса ивняков может использоваться в биоэнергетике, например, для изготовления пеллет или брикетов, а насаждения могут быть вовлечены в хозяйственную деятельность.

Цель работы

Цель работы — изучение видового и возрастного состава ивовых ценозов, определение их фитомассы и теплотворной способности.

Для выполнения поставленной цели были заложены пробные площади (ПП) на заброшенных участках, исключенных из сельскохозяйственного пользования, в северной подзоне тайги: в пойме р. Юрас (приток р. Северная Двина) (ПП1); в осушительном канале полей (бывший совхоз «Беломорский»); в Приморском районе (ПП2); на о. Уемский в пойме р. Северная Двина (ПП3) и в пойме р. Емца (приток р. Северная Двина) (ПП4) Холмогорского р-на.

Материалы и методы

На ПП выполнена таксация общепринятыми методами [15, 16]. Масса стволов определялась методом взвешивания на технических электронных весах с точностью до $\pm 0,75$ мг. В учетах фитомассы всех видов ив в качестве счетной единицы служил один ствол.

Определяли видовой состав ив, возраст, фитомассу и брали образцы древесины для установления заключенной в них энергии. Объективную сравнительную оценку биологической продуктивности насаждений можно дать только на основе абсолютно сухой фитомассы. Для расчета выхода фитомассы необходим перевод сырого веса фракций древостоя в абсолютно сухой. Для этого целесообразно воспользоваться средними значениями

содержания сухого вещества (влажность и содержание сухого вещества, вычисленные в процентах к сырой массе, в сумме составляют 100 %) [17].

Высушенную до абсолютно сухого состояния кору и заболонную часть древесины модельных деревьев каждого вида ивы сжигали для определения удельной теплоты сгорания на бомбовом калориметре сгорания АБК-1В. Навеска образца для сжигания составляла 1 г.

Результаты и обсуждение

На ПП в различном соотношении присутствовали три вида ив: прутьевидная (*S. viminalis* L.), трехтычинковая (*S. triandra* L.), остролистная (*S. acutifolia* Willd.) (табл. 1). На всех ПП присутствует ива прутьевидная и трехтычинковая, а остролистная только на двух ПП. Общая густота изменяется от 7 тыс. шт./га (ПП2) до 52 тыс. шт./га (ПП3). В целом встречаются особи возрастом от 3 до 8 лет. Наиболее широко представлены деревца возрастом от 4 до 6 лет. На их долю приходится 77...100 %.

На ПП присутствует значительное количество усохших деревьев. Их количество изменяется от 32 до 52 % по ПП (рис. 1). Причины такого массового усыхания не совсем ясны. Вероятно, в разряд усохших переходят деревца старше 8 лет, а также молодые деревца, не выдерживающие конкуренции из-за большой густоты деревьев.

Максимальный запас фитомассы приходится на деревца возрастом 4 и 8 лет вида *S. triandra* L. и пятилетние растения вида *S. viminalis* L. на ПП1. На ПП2 в осушительном канале максимальный запас — у семилетних видов *S. acutifolia* Willd. и пятилетних видов *S. triandra* L. и *S. viminalis* L. В пойме р. Северная Двина большую часть запаса также имеют пятилетние растения *S. triandra* L. и *S. viminalis* L. и четырехлетние виды *S. acutifolia* Willd. (табл. 2).

Исследуемые ивовые ценозы порослевого происхождения. Суммарная фитомасса на ПП1 составляет 16,72 т/га, на ПП2 — 6,25, ПП3 — 39,46, ПП4 — 41,68 т/га. Следовательно, значительно более высокой энергией роста обладают насаждения, произрастающие на ПП3 и ПП4, в пойме рек Северная Двина и Емца. Низкий уровень фитомассы на площади в осушительном канале, вероятно, связан с низкой дыхательной активностью корней ввиду их нахождения в местах с плохим дренажем или с временным избыточным увлажнением. Разница между ПП выражается также в том, что на двух из них (ПП1 и ПП4) полностью отсутствует *S. acutifolia* Willd. Изменчивость в распределении видов по местоположениям и в количественном соотношении между разными видами, а также пространственная изменчивость популяционной плотности у каждого вида можно

Т а б л и ц а 1

Возрастная структура ценозов ивы

Age structure of willow cenoses

Номер пробной площади	Возраст, лет	Доля участия в фитоценозах по числу стволов (в числителе тыс. шт./га; в знаменателе в %)		
		<i>S. acutifolia</i> Willd.	<i>S. triandra</i> L.	<i>S. viminalis</i> L.
1	4	–	14,00/82	0,40/9
	5	–	0,89/5	4,00/91
	6	–	1,11/7	–
	7	–	0,44/3	–
	8	–	0,56/3	–
	Итого на ПП1	–	17,00/100	4,40/100
2	4	2,65/62	1,65/70	0,30/75
	5	0,60/14	0,65/28	0,10/25
	6	0,50/12	–	–
	7	0,55/12	0,05/2	–
	Итого на ПП2	4,30/100	2,35/100	0,40/100
3	3	2,55/44	–	4,10/15
	4	3,25/56	6,55/33	7,40/28
	5	–	10,80/55	9,75/36
	6	–	1,70/8	3,55/13
	7	–	0,65/3	0,95/4
	8	–	0,1/1	1,00/4
	Итого на ПП3	5,80/100	19,80/100	26,75/100
4	3	–	2,25/12	–
	4	–	1,89/10	0,79/5
	5	–	6,85/37	5,49/35
	6	–	7,11/38	8,12/52
	7	–	0,64/3	1,25/8
	Итого на ПП4	–	18,74/100	15,65/100

объяснить особенностями диссеминации видов. Стабильная влажность грунта может способствовать совместному поселению разных видов и формированию ивняков смешанного состава. Такие условия благоприятны для поселения особей *S. viminalis* L. и *S. acutifolia* Willd. на местоположениях, которые обычно заселяет только *S. triandra* L.

Ивовые ценозы накапливают в короткий срок значительно большую фитомассу, чем, например, сосновые древостои в этом регионе. Следовательно, их можно рассматривать как своеобразный резервуар для последующего извлечения энергии [18–20].

Рассматривая энергоёмкость различных видов ивы, произрастающих в естественных условиях, следует отметить, что большим энергетическим потенциалом в естественных ценозах обладает *S. acutifolia* Willd., далее следует *S. triandra* L. Самый маленький по сравнению с выше перечисленными показатель энергоёмкости образцов

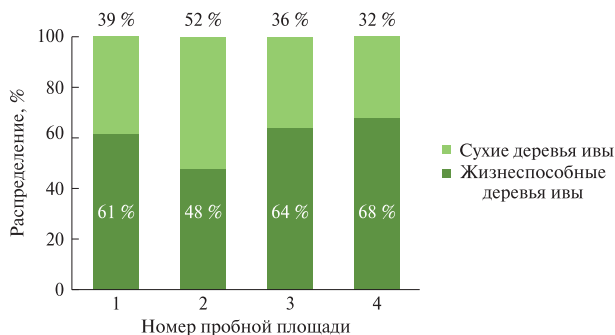


Рис. 1. Распределение жизнеспособных и сухих деревьев, %
Fig. 1. Distribution of viable and dry trees, %

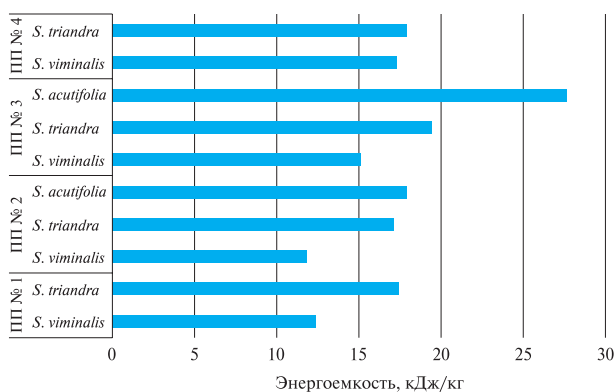


Рис. 2. Средняя энергоёмкость образцов фитомассы ив на пробных площадях, кДж/г
Fig. 2. The average energy intensity of samples of willow phytomass in the trial plots, kJ/g

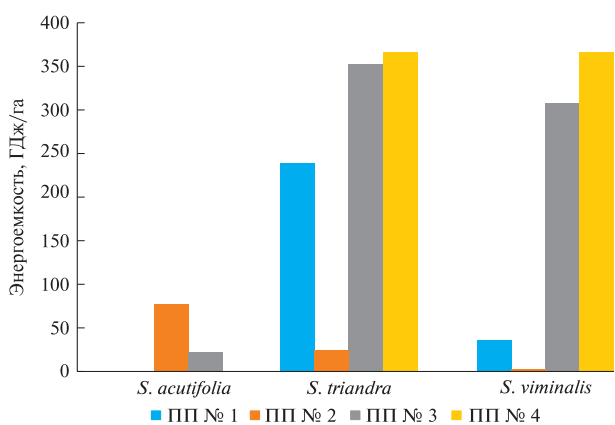


Рис. 3. Средняя энергоёмкость фитомассы ив, ГДж/га
Fig. 3. The average energy intensity of willow phytomass, GJ/ha

имеет *S. viminalis* L. (рис. 2). В среднем энергии в образцах этих пород заключено соответственно, кДж/г: 22,8; 18,0; 14,2.

На рис. 3 представлена энергоёмкость каждого вида ивы от общей фитомассы на пробных площадях в пересчете на гектар. Наибольшим запасом энергии обладают ивняки с наибольшими запасами древесины (ПП3 и ПП4), где энергоёмкость *S. triandra* L. — 354 ГДж/га и 370 ГДж/га, а энергоёмкость *S. viminalis* L. — 309 ГДж/га и 367 ГДж/га соответственно.

Т а б л и ц а 2

Количество фитомассы ив по видам и возрасту растений (в пересчете на абсолютно сухое вещество)

The amount of willow phytomass by species and age of plants (in terms of absolutely dry matter)

Номер пробной площади	Возраст побегов, лет	Виды ивы					
		<i>S. acutifolia</i> Willd.		<i>S. triandra</i> L.		<i>S. viminalis</i> L.	
		т/га	%	т/га	%	т/га	%
1	4	—	—	3,72	27,2	0,02	0,7
	5	—	—	1,20	8,8	3,00	99,3
	6	—	—	2,71	19,8	—	—
	7	—	—	2,33	17,0	—	—
	8	—	—	3,74	27,2	—	—
	Всего на 1 га	—	—	13,7	100	3,02	100
	2	4	0,19	4,3	0,31	20,1	0,07
5		0,63	14,3	1,12	72,7	0,22	75,9
6		1,17	26,5	—	—	—	—
7		2,43	54,9	0,11	7,2	—	—
Всего на 1 га		4,42	100	1,54	100	0,29	100
3	3	0,44	55,0	—	—	0,55	2,7
	4	0,36	45,0	1,82	10,0	0,38	1,9
	5	—	—	11,10	61,0	10,24	50,0
	6	—	—	2,63	14,5	4,81	23,5
	7	—	—	2,14	11,8	2,31	11,3
	8	—	—	0,51	2,7	2,17	10,6
	Всего на 1 га	0,80	100	18,20	100	20,46	100
4	3	—	—	0,63	3,0	0,42	1,9
	4	—	—	0,94	4,6	1,75	8,2
	5	—	—	6,6	32,3	8,90	41,9
	6	—	—	10,0	49,0	8,48	40,0
	7	—	—	2,26	11,1	1,70	8,0
Всего на 1 га	—	—	20,43	100	21,25	100	

Данные энергоёмкости ив можно сравнить с количеством энергии, запасенной в сосновом древостое в северной подзоне тайги [21]. Если принять содержание энергии в 1 г древесины за 2000 Дж/г, при запасе древесины в сосняке черничном в количестве 250 м³/га и содержании воды 50 %, то в результате несложных расчетов можно получить содержание энергии в количестве 212 500 Мдж/га — меньше, чем в ивняках. Следует обратить внимание еще и на тот факт, что эта энергия накопится за 100...120 лет, а в ивняках за 7...8 лет.

Сравнения полученные нами данные с результатами энергетического потенциала культур сосны Вологодской обл., можно отметить, что в 10-летних культурах содержание энергии в 2 раза ниже, чем в 4–6-летних представителях ивы.

С точки зрения энергетической эффективности ивняки обладают очень высоким потенциалом. Приведенные материалы дают возможность оценивать энергетический потенциал фитомассы и пути ее использования, изучать поток энергии в лесных экосистемах.

Выводы

1. В среднем фитомасса ивняков составляет 26 т/га. Наибольшей фитомассой отличаются ивы, произрастающие на о. Уемский и в пойме реки Емца — 39,46 т/га и 41,68 т/га соответственно, где около половины от всей фитомассы составляет вид *S. triandra* L.

2. В ивняках выявлена значительна доля сухостоя. Она изменяется от 32 до 52 % на разных ПП.

3. Содержание энергии в 1 г древесины у всех изученных видов ив преимущественно находится в пределах 15 000...20 000 Дж/г (в среднем 17 432 Дж/г), и лишь в одном случае образцы ивы остролистной показали больший энергетический потенциал.

Наибольшую фитомассу имеют ивняки, образованные из ивы трехтычинковой и прутьевидной, и они, соответственно, обладают наивысшим энергетическим потенциалом. Содержание энергии в них составляет в среднем 213 310 МДж/га.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН (проект № 0409-2019-0039; № ГР ААА-А-А18-118011690221-0).

Список литературы

- [1] Логинова Л.А. Продуктивность и энергетический потенциал ивовых ценозов на примере Воронежской области: дис. канд. биол. наук. Воронеж, 2010. 148 с.
- [2] Анциферов Г.И. Ива. М.: Лесная пром-сть, 1984. 101 с.
- [3] Браславская Т.Ю., Пахов А.С. Формирование популяций ив на пойменном острове в низовьях р. Северной Двины // Лесотехнический журнал, 2016. № 4. С. 29–37.
- [4] Горобец А.И. Продуктивность и санитарное состояние древостоев ивы ломкой в поймах средних и малых рек центрального черноземья // Лесотехнический журнал, 2016. № 4. С. 49–54.
- [5] Крылова А.Г. Влияние финансового кризиса на ЛПК и лесная биоэнергетика как путь выхода из него // Экономика и предпринимательство, 2017. № 12–1 (89). С. 1083–1085.
- [6] Федоренчик А.С., Ледницкий А.В. Стратегия развития мировой лесной биоэнергетики // Энергоэффективность, 2011. № 7. С. 17–19.
- [7] Мохирев А.П., Позднякова М.О. Перспективы лесной биоэнергетики в лесопромышленном комплексе России // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития», Красноярск, 28–29 апреля 2017 г. / под ред. Ю.А. Безруких, Е.В. Мельниковой. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2017. С. 6–9.
- [8] Кракснер Ф., Ледук С., Фусс С., Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З. Подходы к развитию устойчивой биоэнергетики на основе лесных ресурсов северной Евразии // Сибирский лесной журнал, 2018. № 1. С. 16–25.
- [9] Пинягина Н.Б., Горшенина Н.С., Савицкий А.А., Горшенина К.А. Современное состояние и перспективы развития производства биоэнергетики в России // Перспективы развития лесного комплекса России. Рига: LAP Lambert, 2018. С. 70–77.
- [10] Кундас С.П., Позняк С.С., Родькин О.И., Санников В.В., Ленгфельдер Э. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор. Минск: МГЭУ им А.Д. Сахарова, 2008. 85 с.
- [11] Панцхава Е.С., Беренгарден М.Г., Ванштейн С.И. Биогазовые технологии. Проблемы экологии, энергетики, сельскохозяйственного производства. М.: МГУИЭ, ЗАО Центр «ЭКОРОС», 2008, 217 с.
- [12] Панцхава Е.С., Березин И.В. Техническая биоэнергетика // Биотехнология, 1986, № 2 (8). С. 1–12.
- [13] González-García S., Mola-Yudego B., Murphy R.J. Life cycle assessment of potential energy uses for short rotation willow biomass in Sweden // LCA for energy systems, 2012, pp. 367–379.
- [14] Нуреева Т.В., Чефранова М.Н., Мифтахов Т.Ф. Древесные плантации — будущее лесной биоэнергетики. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. 42 с.
- [15] Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- [16] Гусев И.И. Таксация древостоя. Архангельск: АГТУ, 2000. 71 с.
- [17] Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск: Б.и., 2004. 112 с.
- [18] Мартынюк А.А. Потенциал лесных ресурсов для целей биоэнергетики в Российской Федерации // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2013. № 37. С. 50–53.
- [19] Мартынюк А.А. Методические подходы к оценке потенциала лесной биомассы для коммунальной биоэнергетики // Лесохозяйственная информация, 2015. № 2. С. 5–12.
- [20] Лесная биоэнергетика / под ред. Ю.П. Семенова. М.: МГУЛ, 2010. 348 с.
- [21] Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Владыкин Е.А., Суховеев А.И. Потенциал невестребованных ресурсов древесного сырья для биоэнергетики // Хвойные бореальной зоны, 2019. Т. 37. № 5. С. 295–300.

Сведения об авторах

Килушев Андрей Юрьевич — аспирант кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, yorick282@yandex.ru.

Килушева Наталья Владимировна — аспирант кафедры композиционных материалов и строительной экологии Высшей инженерной школы, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, n.volkova@narfu.ru.

Феклистов Павел Александрович — д-р с.-х. наук, профессор кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, p.feklistov@narfu.ru.

Поступила в редакцию 03.02.2020.

Принята к публикации 20.03.2020.

STOCK AND POWER CONSUMPTION OF WILLOW IN RIPARIAN FLOODPLAIN OF NORTHERN DVINA RIVER

A.Yu. Kilyushev¹, N.V. Kilyusheva¹, P.A. Feklistov²

¹Northern (Arctic) Federal University, named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences, named after Nikolai Laverov, 23, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163000, Arkhangelsk, Russia

yorick282@yandex.ru

Since biomass is the most powerful after the sun renewable environmentally clean energy source, and combustion products leads to increase in atmospheric carbon dioxide and does not cause environmental pollution with sulfur oxides, the use of low-grade wood and waste, and the creation of a special energy plantations of tree species are regarded as the most important economic problems. The purpose of the work was to determine the productivity, phytomass reserve and energy potential of willow, followed by the identification of the most promising species that grow in natural conditions in the drainage channel, floodplains of rivers, on cultivated soils in areas that arose as a result of agricultural use in the Arkhangelsk region. The distribution, population mechanisms, age variability, growing conditions and the state of natural willow cenoses (*S. triandra* L., *S. viminalis* L., *S. acutifolia* Willd.) were studied data on willow productivity were obtained. The calorimetry method obtained data on the energy capacity of phytomass samples by species and in General on the sample areas in terms of 1 ha. *S. acutifolia* Willd. has a Large energy potential in natural cenoses, followed by *S. triandra* L. the smallest, in comparison with the above, the energy intensity index of samples has *S. viminalis* L. Willows formed from three-staminate willow and prutoid have the highest energy potential. This study highlights the opportunities and challenges of using willow as an energy source and demonstrates the energy productivity of willow biomass, which provides environmental benefits in terms of depletion of fossil fuel reserves.

Keywords: willow plantations, calorimetry, phytomass, energy potential, productivity

Suggested citation: Kilyushev A. Yu., Kilyusheva N.V., Feklistov P.A. *Zapas i energoemkost' ivnyakov v priruslovoy poyme reki Severnaya Dvina* [Stock and power consumption of willow in riparian floodplain of Northern Dvina river]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 19–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-4-19-25

References

- [1] Loginova L.A. *Produktivnost' i energeticheskiy potencial ivovykh tsenozov na primere Voronezhskoy oblasti* [Productivity and energy potential of willow coenoses on the example of the Voronezh region]. Diss. Sci. (Biol.). Voronezh, 2010, 148 p.
- [2] Antsiferov G.I. *Iva* [Willow]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1984, 101 p.
- [3] Braslavskaya T. Yu., Pakhov A. S. *Formirovaniye populyatsiy iv na poymennom ostrove v nizov'yakh r. Severnoy Dviny* [Formation of willow populations on a floodplain island in the lower reaches of the river. Northern Dvina]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 4, pp. 29–37.
- [4] Gorobtsets A.I. *Produktivnost' i sanitarnoye sostoyaniye drevostoev ivy lomkoy v poymakh srednikh i malykh rek tsentral'nogo chernozem'ya* [Productivity and sanitary condition of willow stands brittle in floodplains of medium and small rivers of the central chernozem]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 4, pp. 49–54.
- [5] Krylova A.G. *Vliyaniye finansovogo krizisa na LPK i lesnaya bioenergetika kak put' vykhoda iz nego* [The impact of the financial crisis on forestry and forest bioenergy as a way out of it]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and Entrepreneurship], 2017, no. 12–1 (89), pp. 1083–1085.
- [6] Fedorenchik A.S., Lednitskiy A.V. *Strategiya razvitiya mirovoy lesnoy bioenergetiki* [Development Strategy of World Forest Bioenergy]. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2011, no. 7, pp. 17–19.

- [7] Mokhiev A.P., Pozdnyakova M.O. *Perspektivy lesnoy bioenergetiki v lesopromyshlennom komplekse Rossii* [Prospects of forest bioenergy in the timber industry of Russia]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Innovatsii v khimiko-lesnom komplekse: tendentsii i perspektivy razvitiya»* [Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation «Innovations in the chemical-forest complex: trends and development prospects»] Krasnoyarsk, April 28–29, 2017. Ed. Yu.A. Bezrukikh, E.V. Melnikova. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetneva, 2017, pp. 6–9.
- [8] Kraksner F., Leduk S., Fuss S., Shchepashchenko D.G., Shvidenko A.Z. *Podkhody k razvitiyu ustoychivoy bioenergetiki na osnove lesnykh resursov severnoy Evrazii* [Approaches to the development of sustainable bioenergy based on forest resources of northern Eurasia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2018, no. 1, pp. 16–25.
- [9] Pinyagina N.B., Gorshenina N.S., Savitskiy A.A., Gorshenina K.A. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva bioenergetiki v Rossii* [The current state and prospects for the development of bioenergy production in Russia]. *Perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa Rossii* [Prospects for the development of the forest complex of Russia]. Riga: LAP Lambert, 2018, pp. 70–77.
- [10] Kundas S.P., Poznyak S.S., Rod'kin O.I., Sanikovich V.V., Lengfel'der E. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh: nauchnyy obzor* [Use of wood biomass for energy purposes: a scientific review]. Minsk: Moscow State University of Economics named after A.D. Sakharov, 2008, 85 p.
- [11] Pankhava E.S., Berengarten M.G., Vanshteyn S.I. *Biogazovyye tekhnologii. Problemy ekologii, energetiki, sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Biogas technology. Problems of ecology, energy, agricultural production]. Moscow: Moscow State University of Economics and Economics, CJSC ECOROS Center, 2008, 217 p.
- [12] Pankhava E.S., Berezin I.V. *Tekhnicheskaya bioenergetika* [Technical bioenergy]. *Biotekhnologiya* [Biotechnology], 1986, no. 2 (8), pp. 1–12.
- [13] González-García S., Mola-Yudego B., Murphy R.J. Life cycle assessment of potential energy uses for short rotation willow biomass in Sweden. *LCA for energy systems*, 2012, pp. 367–379.
- [14] Nureeva T.V., Chefranova M.N., Miftakhov T.F. *Drevesnye plantatsii — budushchee lesnoy bioenergetiki* [Wood plantations are the future of forest bioenergy]. Yoshkar-Ola: PSTU, 2012, 42 p.
- [15] Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest taxation]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1982, 552 p.
- [16] Gusev I.I. *Taksatsiya drevostoya* [Forest stand taxation]. Arkhangelsk: ASTU, 2000, 71 p.
- [17] Babich N.A., Merzlenko M.D., Evdokimov I.V. *Fitomassa kul'tur sosny i eli v Evropeyskoy chasti Rossii* [Phytomass of pine and spruce crops in the European part of Russia]. Arkhangelsk, 2004, 112 p.
- [18] Martynyuk A.A. *Potentsial lesnykh resursov dlya tseley bioenergetiki v Rossiyskoy Federatsii* [The potential of forest resources for bioenergy in the Russian Federation]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2013, no. 37, pp. 50–53.
- [19] Martynyuk A.A. *Metodicheskie podkhody k otsenke potentsiala lesnoy biomassy dlya kommunal'noy bioenergetiki* [Methodological approaches to assessing the potential of forest biomass for communal bioenergy]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], 2015, no. 2, pp. 5–12.
- [20] *Lesnaya bioenergetika* [Forest bioenergy]. Ed. Yu.P. Semenov. Moscow: MGUL, 2010, 348 p.
- [21] Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Vladykin E.A., Sukhoveev A.I. *Potentsial nevostrebovannykh resursov drevesnogo syr'ya dlya bioenergetiki* [The potential of unclaimed resources of wood raw materials for bioenergy]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2019, v. 37, no. 5, pp. 295–300.

Authors' information

Kilyushev Andrey Yur'evich — Graduate Student of the Department of biology, ecology and biotechnology of the Higher school of natural Sciences and technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, yorick282@yandex.ru

Kilyusheva Natalia Vladimirovna — Graduate Student of the Department of composite materials and construction ecology of the Higher school of engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.volkova@narfu.ru

Feklistov Pavel Aleksandrovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of biology, ecology and biotechnology of the Higher school of natural Sciences and technologies, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, p.feklistov@narfu.ru

Received 03.02.2020.

Accepted for publication 20.03.2020.