DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.2/8
УДК 630*233:631*618

ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ С ПОМОЩЬЮ КУЛЬТУР ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA* L.)

доктор сельскохозяйственных наук **Э.И. Трещевская**[1,2]
кандидат сельскохозяйственных наук **И.В. Голядкина**[1]
кандидат сельскохозяйственных наук **С.В. Трещевская**[1]
аспирант **В.И. Князев**[1]
младший научный сотрудник **Е.А. Кушнир**[2]
1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация
2 – ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Во всех регионах нашей страны и за рубежом, где добыча полезных ископаемых производится открытым способом, возникают техногенные ландшафты, наносящие большой вред окружающей среде. Одним из наиболее дешевых направлений восстановления нарушенных ландшафтов является лесная рекультивация. Для улучшения лесорастительных условий вскрышных пород на отвалах формируют техноземы. Двухкомпонентный технозем был сформирован на песчано-меловом гидроотвале Березовый лог Курской магнитной аномалии после проведения землевания. На начальном этапе рекультивации тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) был рекомендован среди нескольких десятков древесных и кустарниковых пород для восстановления нарушенных земель как быстрорастущая древесная порода. В первые восемь лет тополь показал достаточно хорошую сохранность – 89,4-80,0 %. Известно, что для успешного восстановления нарушенных земель необходимо создание высокопродуктивных фитоценозов. Количество же органического вещества, синтезированного тополем бальзамическим, в 2 раза меньше по сравнению с такими почвоулучшающими породами, как робиния лжеакация (*Robinia Pseudoacacia* L.) и облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). Кроме того, тополь бальзамический характеризуется небольшой фитомассой листьев – 3,5 ц/га в 9-летнем возрасте, что более чем в 5 раз меньше, чем у исследованных ранее почвоулучшающих пород. В связи с этим мелиорирующую роль листьев в насаждениях тополя можно считать незначительной. Содержание химических элементов в листьях и мелких корнях тополя, оказывающих прямое влияние на аккумуляцию веществ в субстратах, в 1,5-1,3 раза меньше, чем у робинии и облепихи. Тополь бальзамический в условиях нарушенных земель не формирует долговечных устойчивых насаждений. К 35 годам его сохранность составляет 15,4 %, а к возрасту 42 лет – 11,0 %. На основании изучения насаждений тополя бальзамического в возрасте до 42 лет эта порода не может быть рекомендована для лесной рекультивации отвалов в техногенных ландшафтах.

Ключевые слова: техногенно нарушенные земли, песчано-меловая смесь, лесная рекультивация, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), биомасса

PROSPECTS FOR FOREST RECULTIVATION OF TECHNOGENIC LANDSCAPES USING BALSAM POPLAR (*POPULUS BALSAMIFERA* L.)

DSc (Argiculture) **E.I. Treshchevskaya**[1,2]
PhD (Argiculture) **I.V. Golyadkina**[1]
PhD (Argiculture) **S.V. Treshchevskaya**[1]
post-graduate student **V.I. Knyazev**[1]
Junior Researcher **E.A. Kushnir**[2]
1 – FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation
2 – FBI "Saint Petersburg Forestry Research Institute", Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract

In all regions of our country and abroad, where the extraction of minerals is carried out in an open way, technogenic landscapes arise. They cause great harm to the environment. One of the cheapest areas of restoration of disturbed landscapes is forest reclamation. To improve the forest-growing conditions of overburden rocks on the dumps form technozems. A two-component technozem was formed on the Beryozovy log sand of the Kursk Magnetic Anomaly on the sand-chalky dump after land surveying. At the initial stage of reclamation, balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) was recommended among several dozen of tree and shrub species to restore disturbed lands as a fast-growing tree species. In the first eight years, poplar showed fairly good preservation – 89.4-80.0 %. It is known that it is necessary to create highly productive phytocenoses for the successful restoration of disturbed lands. The amount of organic matter synthesized by balsamic poplar is 2 times less compared to such soil-improving species as *Robinia Pseudoacacia* L. and *Hippophae rhamnoides* L. In addition, balsam poplar is characterized by a small phytomass of leaves – 3.5 c/ha at the age of 9, which is more than 5 times less than in the previously studied soil-improving species. In this regard, the reclamation role of leaves in poplar stands can be considered insignificant. The content of chemical elements in leaves and small roots of poplar, which have a direct effect on the accumulation of substances in substrates, is 1.5-1.3 times less than that of robinia and sea buckthorn. Balsam poplar (in the conditions of disturbed lands) does not form long-term stable stands. By the age of 35, its safety is 15.4 %, and by the age of 42 years – 11.0 %. Based on the study of balsam poplar plantings under the age of 42 years, this species cannot be recommended for forest reclamation of dumps in technogenic landscapes.

Keywords: man-made disturbed lands, sand-chalk mixture, forest reclamation, balsam poplar (*Populus balsamifera* L.), biomass

Введение

Полезные ископаемые являются основой экономики нашей страны. Добыча железной руды – одна из ведущих отраслей производственного комплекса. Россия находится на первом месте в мире по добыче этого полезного ископаемого. Курская магнитная аномалия в России является самым крупным железорудным бассейном. По самым скромным оценкам запасы данного месторождения составляют около 200 млрд тонн. Этот железорудный бассейн расположен на территории Курской, Орловской и Белгородской областей. Руда, которая залегает на глубине до 500 м, извлекается открытым или карьерным способом. Открытый способ добычи железистых кварцитов наносит больший урон экологии, но его применение требует меньших капитальных вложений. В результате открытой добычи железной руды возникают техногенные комплексы, требующие скорейшего восстановления.

Геоморфологические, субстратные и микроклиматические условия карьерно-отвальных комплексов замедляют самостоятельное воспроизводство лесных экосистем, и наиболее эффективно этот процесс протекает только после проведения технического этапа рекультивации [5].

В соответствии с ГОСТ 17.5.1.01-83, «к техническому этапу рекультивации относятся планировка, формирование откосов, снятие, транспортирование и нанесение почв и плодородных пород на рекультивируемые земли, при необходимости коренная мелиорация и др.» [6].

Одно из важных мероприятий в ходе технического этапа рекультивации – нанесение плодородного слоя, наличие которого помогает увеличить приживаемость лесных культур. Из насыпных слоёв на поверхности отвала создаются искусственные почвоподобные образования – технозёмы. На отвалах Курской магнитной аномалии рекультиваторщики изучали различные способы создания технозёмов под закладку насаждений, в том числе «формирование двухкомпонентных техноземов с разной мощностью насыпного плодородного слоя в процессе поверхностного землевания и трехкомпонентных техноземов с погребенным плодородным слоем под слоем песка или песчано-меловой смеси» [11].

Песчано-меловые смеси и пески являются наиболее распространенными вскрышными породами в отвалах. Без улучшения лесорастительных условий большинство авторов их относят к малопригодным породам для выращивания древесных и кустарниковых пород [15, 18]. При этом более благоприятными свойствами характеризуются песчано-меловые смеси. Это подчеркивает в своих работах П.Ф. Андрющенко [2]. На биологическом этапе восстановления почвенно-растительного покрова проведение лесной рекультивации диктуется не только возвращением нарушенных земель лесному производству, но и поддержанием в природе соотношения углекислоты, кислорода и др. засчет увеличения площади земель с древесной и кустарниковой растительностью.

Многие отечественные и зарубежные авторы, в том числе Е.В. Абакумов и Э.И. Гагарина, считают, что основным направлением использования техногенных ландшафтов должна быть именно лесная рекультивация [1, 4, 12].

Среди пород, рекомендуемых для лесной рекультивации на сложных по составу грунтосмесях, ряд авторов выделяют тополя как быстрорастущие и неприхотливые древесные породы. При этом свои выводы авторы базируют на исследованиях, проведенных в молодых насаждениях, максимум 20-летнего возраста [8, 9]. Основное внимание в предшествующих работах уделяется анализу состояния и роста культур. Целью данной работы является прогноз устойчивости и продуктивности культур тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях техногенно нарушенных земель Курской магнитной аномалии.

Материалы и методы

Объекты исследования расположены на техногенно нарушенных землях Лебединского горно-обогатительного комбината Курской магнитной аномалии. Научно-исследовательские работы проводились на гидроотвале «Березовый лог» в период с 1976 по 2017 гг.

Гидроотвал начал формироваться с 1965 г. намывом нижне- и верхнемеловых отложений горных пород в балку, непосредственно примыкающую с юго-востока к городу Губкину. Нижнемеловые отложения представлены кварцевыми песками альбского яруса и песчано-глинистыми отложениями, богатыми слюдой, апского яруса. Из верхнемеловых отложений на гидроотвале были намыты сеноманские среднезернистые кварцевые пески с включением стяжений фосфоритов. Помимо песков, характерно наличие примесей мела сенонского и туронского ярусов. Таким образом, гидроотвал сложен песчано-меловой смесью, которая является малопригодной для выращивания древесной и кустарниковой растительности.

На момент исследования общая площадь гидроотвала составила 1241,3 га, высота отвала находилась в интервале 40-46 м, крутизна откосов доходила до 30°.

Посадке культур тополя предшествовал технический этап рекультивации, в ходе которого на поверхность отвала был нанесен плодородный слой мощностью от 20 до 40 см, местами до 80 см. Под плодородным слоем понимается смесь нескольких генетических горизонтов чернозёма типичного.

При выборе древесной породы на биологическом этапе рекультивации руководствовались, прежде всего, высокими темпами роста и неприхотливостью тополя бальзамического. Это интродуцированное растение с высокой адаптационной

способностью, довольно газоустойчивое и морозостойкое. В зональных условиях доживает до 150-200 лет. Хорошо переносит сухость воздуха и засоление почвы. Благодаря быстрому росту отличается высокой продуктивностью [14]. Тополь бальзамический был апробирован во многих регионах нашей страны при создании санитарно-защитных и эстетических насаждений, а также при восстановлении техногенно нарушенных земель.

Насаждения тополя бальзамического на гидроотвале создавались с 1976 г. посадкой укорененных черенков ручным и механизированным способами. На первом этапе в 1981 г. были созданы насаждения в транзитно-аккумулятивной части отвала, позднее, в 1983 и 1984 годах, были созданы насаждения на вершине отвала.

Постоянные пробные площади были заложены, начиная с момента посадки растений. При закладке площадей учитывались современные требования таксации. Исследовательские работы на пробных площадях выполнялись по общепринятым в практике лесоводства, лесоведения и почвоведения методикам. Учёт микроклиматических изменений производился по общепринятым методикам метеорологических наблюдений.

Модельные деревья, характеризующие древостой, выбирали по среднему диаметру и средней высоте. Модельные деревья служили основной единицей учета массы органического вещества на пробной площади. Отдельно учитывались листья, ветви, ствол, корни. Отбор и учёт массы листового опада проводился в соответствии с рекомендациями А.С. Аткина и В.Д. Стаканова [3].

Содержание химических элементов в листовом опаде и живом напочвенном покрове изучалось в Государственном центре агрохимической службы «Воронежский». Были определены следующие показатели по нижеприведенным ГОСТам: фосфор – по ГОСТ 26657-97; калий – по ГОСТ 30504-97; кальций и магний – по ГОСТ 26570-95; азот – по ГОСТ 13496, 4-93; влага – по ГОСТ 27548-97; зола – по ГОСТ 13979-69.

Определение тяжелых металлов в ассимилирующих органах растений проводилось с помощью атомно-адсорбционного спектрофотометра марки ААС 703 «Перкин-Ельмер» (США) в отделе физико-химических исследований НИИ незаразных болезней животных (г. Воронеж). Отбор образцов был произведён в соответствии с рекомендациями Н.Г. Зырина и А.И. Обухова [7].

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием пакета прикладных программ EXCEL, STATISTICA.

Результаты и обсуждение

Приживаемость и рост древесных культур в условиях техногенно нарушенных земель зависят от различных экологических факторов, среди которых можно выделить: плотность сложения и физические свойства субстратов, абсолютную высоту на различных частях отвала, экспозиции склонов и некоторые другие. Лимитирующим экологическим фактором является, прежде всего, влага. В связи с этим основными показателями, влияющими на успешное укоренение посадочного материала, а в дальнейшем его рост и развитие, являются погодные условия вегетационного периода (годовое количество осадков) и запасы воды в субстратах. В дальнейшем от биологической продуктивности насаждений зависит преобразование субстратов и повышение их плодородия.

Культуры тополя на гидроотвале создавались, начиная с 1976 г., укорененными черенками, ручным и механизированным способами. Работа велась в несколько этапов: в 1981 г. культуры были заложены в транзитно-аккумулятивной части гидроотвала, а в 1983-1984 гг. – на вершине отвала. В транзитно-аккумулятивной части отвала приживаемость составила более 81 %. При этом при механизированной посадке приживаемость тополя составила 52 %, что связано с засушливыми условиями 1984 года (табл. 1). По показателям роста тополь бальзамический в экстремальных условиях почвенно-атмосферной засухи на гидроотвале обладает удовлетворительным состоянием и приростом в высоту.

Таблица 1

Показатели приживаемости и роста тополя бальзамического на гидроотвале «Берёзовый лог»

Год посадки	Способ посадки	Приживаемость, %	Высота, см	Диаметр, см	Прирост, см
Транзитно-аккумулятивная часть отвала					
1981	Ручной	81,1	59,8±0,80	0,63±0,02	18,5±1,10
Вершина отвала					
1983	Ручной	86	66,0±6,34	0,8±0,02	20,0±0,94
1984	механизированный	52	65,8±1,41	0,6±0,03	12,2±0,43

Собственные экспериментальные данные Э.И. Трещевской

Таблица 2

Характеристика сохранности и роста тополя бальзамического на гидроотвале

Годы посадки	Возраст, лет	Количество осадков, мм	Сохранность, %	Высота, см	Диаметр, см	Прирост, см
1976	1	650	89,4	49,9±2,31	0,59±0,01	18,9±0,15
1977	2	644	88,5	107,4±2,77	1,51±0,01	33,4±0,29
1978	3	534	87,7	109,5±1,67	1,53±0,01	29,5±0,27
1979	4	592	87,6	133,8±1,88	1,54±0,01	29,1±0,24
1980	5	799	87,6	179,0±2,06	1,54±0,01	57,7±0,57
1981	6	609	84,0	200,3±2,12	1,61±0,01	48,6±0,45
1982	7	675	80,2	251,9±1,99	2,72±0,03	64,5±0,99
1983	8	497	80,0	306,0±2,78	4,94±0,05	40,8±0,51
2010	35	490	15,4	900,2±3,45	30,15±0,09	57,8±0,61
2017	42	508	11,0	1200,0±5,01	36,61±1,02	45,5±0,77

Собственные экспериментальные данные с 1976 по 2017 г.

По количеству осадков были выделены три типа гидротермических условий: благоприятные – с годовым количеством осадков более 600 мм, средние – 500-600 мм и неблагоприятные – менее 500 мм.

В табл. 2 приведены данные наблюдений за динамикой роста тополя бальзамического на маломощном плодородном слое в условиях гидроотвала. На основе этих данных можно прогнозировать особенности роста. Обращает на себя внимание тот факт, что наибольшие величины прироста отмечаются не только в годы с максимальным количеством осадков, но и в те годы, которым предшествуют благоприятные гидротермические условия. При этом благоприятные экологические условия в год формирования почек находят отражение в усиленном росте побегов следующего года. В годы с максимальным количеством осадков рост в высоту достигает максимальных значений. Таким образом, можно выделить довольно четкую закономерность роста насаждений тополя в зависимости от влагообеспеченности.

Также необходимо отметить, что тополь бальзамический после посадки на поверхности гидроотвала имел высокую сохранность в период с 1976 по 1983 г., которая составила 89,4-80,0 %. При этом с 1981 г. сохранность культур несколько уменьшилась, а в 1982 и 1983 гг. почти стабилизировалась на отметке 80 %. Изменения сохранности по годам в молодом насаждении обусловлены, главным образом, характером увлажнения и зависят, прежде всего, от типа гидротермических условий. Тополь в раннем возрасте слабо реагирует на резкие колебания экологических условий, и вели-

чина его сохранности понижается не более чем на 7 %.

Обследование изучаемого тополевого насаждения в 2010 году показало, что сохранность тополя резко снизилась до 15,4 %. В 2017 году таксационное обследование в транзитно-аккумулятивной части отвала показало, что оставшиеся экземпляры имеют высоту не более 12,0 м, средний диаметр – 36,61 см и растут по III классу бонитета. Таким образом, в 42-летних насаждениях тополь бальзамический сохранился только в транзитно-аккумулятивной части отвала, а в элювиальной и элювиально-транзитной частях полностью выпал в связи с несоответствием почвенно-грунтовым условиям.

Успешное восстановление посттехногенного ландшафта требует научно обоснованных мероприятий по созданию высокопродуктивных фитоценозов. Только такие растительные сообщества способны увеличить концентрацию биологически важных питательных элементов, улучшить физическое состояние нанесенного плодородного слоя и, как результат, повысить плодородие субстратов отвала. Кроме того, наиболее продуктивные фитоценозы усиливают баланс углерод-кислород в окружающей среде и, тем самым, способствуют сокращению антропогенного поступления углекислого газа в атмосферу.

Для того чтобы определить биологическую продуктивность насаждений тополя бальзамического, был произведён учёт массы органического вещества надземных и подземных органов растений по средним модельным деревьям. Полученные результаты приведены в табл. 3. Анализ экспериментальных данных показывает, что количество органического вещества, синтезированного тополем в возрасте 4 лет, составило 582 г, к 6 годам этот показатель увеличился до 1051 г, а к 9 годам – до 1239 г. По сравнению с другими породами, тополь бальзамический имеет наименьшие показатели в этом возрасте. Так, например, больше всего органического вещества накапливается в робинии лжеакации (*Robinia pseudoacacia* L.), облепихе крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) и лохе узколистном (*Elaeagnus angustifolia* L.) – 2191-2281 г [10]. Из данных табл. 3 следует, что основную массу органического вещества дает ствол, затем 1/2-1/3 часть – подземная биомасса, менее значительную долю составляют ветви и зеленые ассимилирующие органы.

При восстановлении нарушенных земель особое мелиорирующее значение имеют зеленые части растений – листья. Листовой опад оказывает положительное влияние на сохранность и плодородие субстратов на откосах отвалов. В связи с этим древесные и кустарниковые породы, обладающие наибольшей лиственной биомассой, играют важную роль в преобразовании отвальных земель. Среди всех исследованных пород в возрасте 9 лет самой большой массой листвы характеризуется лох узколистный – 628 г, в то время как у тополя этот показатель составляет всего 82 г.

Биологическую продуктивность насаждения (ц/га) можно определить, учитывая начальную плотность посадки (шт./га). Вычислив общий запас биомассы тополевого насаждения на откосах гидроотвала «Березовый лог», можно сделать некоторые выводы. Общий запас биомассы складывается из надземной и подземной фитомассы, с учётом напочвенного покрова. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что основная часть биомассы приходится на долю таких компонентов, как корневые системы – 22,9 и ствол с ветвями – 29,4 ц/га. То есть именно в этих структурных единицах фитоценоза законсервирована большая часть органического вещества. Доля напочвенного покрова в общей биомассе тополевого насаждения невелика: так, моховой покров составляет 5,7 ц/га, а надземная часть трав, произрастающих в междурядьях, составляет 8,0 ц/га. Необходимо отметить, что подземная биомасса трав превышает надземную в два раза и составляет 16,3 ц/га. Зная, что треть корней ежегодно отмирает, можно считать, что в насаждении тополя с травами поступает и активно участвует в обогащении субстрата органическим веществом около 5,4 ц/га органических остатков.

Таблица 3

Биомасса модельных деревьев тополя бальзамического (в воздушно-сухом состоянии)

Возраст, лет	Надземная часть, г						Подземная часть, г			Общая биомасса, г	% листьев от биомассы	% корней от биомассы
	листья	прирост посл. года	ветви мелкие	ветви крупные	ствол	надземная биомасса	корни мелкие	корни крупные	подземная биомасса			
4	61	8	5	41	200	315	9	258	267	582	10	41
6	72	15	10	77	463	637	11	403	414	1051	7	39
9	82	16	11	84	578	771	15	453	468	1239	7	38

Собственные экспериментальные данные

Таблица 4

Общий запас фитомассы в 9-летнем насаждении тополя на откосах гидроотвала, ц/га

Компоненты фитомассы									Общий запас фитомассы
надземная фитомасса					подземная фитомасса				
Листья	ветви, ствол	моховой покров	травы	мертвый покров	всего	корни деревьев	корни трав	всего	
3,5	29,4	5,7	8,0	6,2	52,8	22,9	16,3	39,2	92,0

Собственные данные

По сравнению с изучаемыми ранее породами в 9-летнем возрасте тополь бальзамический характеризуется наименьшей фитомассой – 92,0 ц/га. В то время как этот показатель в культурах робинии лжеакации составляет 182,2 ц/га, а в культурах облепихи крушиновой – 143,9 ц/га. По запасам фитомассы листьев тополь также имеет наименьшее значение – 3,5 ц/га, тогда как у робинии – 18,4, а у облепихи – 19,1 ц/га [10]. Таким образом, мелиорирующую роль листьев в насаждениях тополя можно считать незначительной.

Средовая конкуренция при зарастании отвалов на техногенно нарушенных землях может выражаться в угнетении роста и развития корневых систем древесных и кустарниковых пород за счёт высокого прироста корневой массы сорной травянистой растительности. Особенно это характерно для начальной стадии естественного зарастания нарушенных земель, а также вызывает определённые трудности при лесной рекультивации отвалов.

В связи с этим многие отечественные рекультиваторщики, в частности проф. Я.В. Панков, утверждали, что «в целях ограничения разрастания сорной растительности в междурядьях следует проводить посев бобовых трав, которые значительно улучшают условия роста и развития деревьев и кустарников за счет вытеснения сорняков и благоприятного воздействия на субстраты» [9].

Содержание химических элементов в листьях и мелких корнях тополя, оказывающих прямое влияние на аккумуляцию веществ в субстратах, представлено в табл. 5. Для сравнения приводится также химический состав бобовых многолетних трав и сорного разнотравья. Из таблицы видно, что тополь бальзамический по сравнению с эспарцетом песчаным (*Onobrychis arenaria* (Kit). DC.) характеризуется небогатым химическим составом – 4,06 % на сухое вещество. При этом надо отметить, что в данном случае тополь немного уступает робинии и облепихе. Общее содержание химических элементов в этих породах составляет,соответственно, 5,93 и 5,15 % на сухое вещество [18].

Таблица 5

Содержание химических элементов в растительности на гидроотвале

Растительность	Химические элементы, % на сухое вещество								Сумма
	азот	фосфор	калий	кальций	магний	кремний	алюминий	железо	
Тополь бальзамический	0,83	0,38	0,69	1,47	0,24	0,36	0,03	0,06	4,06
Эспарцет песчаный	4,02	0,38	2,40	1,52	0,19	0,69	0,15	0,18	9,53
Разнотравье	0,86	0,20	1,17	0,66	0,28	0,73	0,13	0,11	4,14

Собственные данные

Таблица 6

Содержание тяжелых металлов в ассимилирующих органах растительности

Растительность	Тяжелые металлы, мг/кг				
	железо	титан	марганец	никель	медь
Гидроотвал					
Тополь бальзамический	740	190	84	2,5	3,7
Эспарцет песчаный	620	480	58	3,4	6,6
Разнотравье	440	75	40	3,1	3,1
Зональные почвы					
Тополь бальзамический	300	137	980	2,7	3,9
Эспарцет песчаный	410	326	115	2,9	6,0
Разнотравье	205	80	73	2,5	2,5

Собственные экспериментальные данные

В насаждении тополя над всеми элементами преобладает кальций, кроме того, отмечается высокая концентрация азота и калия.

Накопление азота и зольных элементов в биомассе находится в прямой зависимости от общего ее запаса и возрастает с увеличением последней. В 9-летнем насаждении тополя аккумулировано всего 28,23 кг/га азота. Если сравнить с другими породами, то в насаждении робинии содержится 247,98, облепихи – 219,19 кг/га. Из всех химических элементов насаждение тополя максимально накапливает кальций – 69,47 кг/га [10, 17].

В связи с тем, что исследуемая территория находится в зоне импактного загрязнения на территории Губкин-Старооскольского железорудного района, большой интерес представляет содержание тяжелых металлов в ассимилирующих органах тополя бальзамического. Накопление поллютантов и интенсивность их биологического поглощения культурами тополя представляет также интерес с точки зрения возможного очищения почв.

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 6.

Учитывая, что тополевое насаждение находится в непосредственной близости от железорудного карьера, количество железа в листьях тополя в 2,5 раза превышает соответствующий показатель на зональных почвах: на гидроотвале – 740, а на зональных почвах – 300 мг/кг. В вегетативной массе эспарцета песчаного и сорного разнотравья содержание железа также завышено в 1,5-2 раза по сравнению с зональными почвами. Если сравнить накопление железа на гидроотвале, то больше всего данный элемент накапливается в ассимилирующих органах тополя бальзамического, а наименьшее значение характерно для сорного разнотравья.

По содержанию титана максимальное значение отмечено у эспарцета песчаного, как на гидроотвале, так и на зональных почвах – 480 и 326 мг/кг соответственно. Содержание таких тяжелых металлов, как никель и медь, в листьях тополя, эспарцета песчаного и сорного разнотравья, произрастающего

на отвале, незначительно и колеблется в пределах, близких к зональным условиям.

Необходимо отметить, что содержание марганца на зональных почвах значительно превышает этот показатель на нарушенных почвах. Повышенное почти в 12 раз содержание марганца в зональных почвах можно объяснить применением сельскохозяйственных удобрений близлежащими агрохозяйствами.

Таким образом, по содержанию тяжелых металлов в биомассе растительности можно предположить, что повышенное содержание железа и титана при относительно низком содержании марганца вызывает смещение установившихся соотношений между указанными элементами, которое в дальнейшем может привести к ряду неблагоприятных явлений в физиологических процессах растений [13]. Например, недостаток марганца способствует хлорозу растений, нарушению процессов метаболизма и синтеза хлорофилла. С точки зрения экологического загрязнения, повышенное содержание железа и титана в зеленых ассимилирующих органах тополя и надземной массе трав не является токсичным.

Общий показатель содержания тяжелых металлов в ассимилирующих органах исследуемых растений ещё не дает полного представления о накоплении и поглощении поллютантов в зоне влияния железорудной промышленности. Дальнейшее изучение данной проблемы позволит авторам более детально проанализировать способность различных видов растений к поглощению тех или иных тяжелых металлов.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования по использованию тополя бальзамического при лесной рекультивации техногенно нарушенных земель позволяют сделать следующие выводы:

1. В условиях техногенных ландшафтов возможна закладка насаждений тополя бальзамического укорененными черенками в транзитно-аккумулятивной части откосов отвалов, где приживаемость составляет более 80 %.

2. Учитывая, что для успешного восстановления нарушенных земель необходимо создание высокопродуктивных фитоценозов, следует отметить, что количество органического вещества, синтезированного тополем в возрасте 6 лет, в 2 раза меньше, чем робинией лжеакацией, облепихой крушиновой и лохом узколистным.

3. Тополь бальзамический характеризуется небольшой фитомассой в 9-летнем возрасте – 92,0 ц/га, из которой 3,5 ц/га составляют листья. Это в 5,6 раз меньше, чем у облепихи, и в 5,2 раза меньше, чем у робинии. В связи с этим мелиорирующую роль листьев в насаждениях тополя можно считать незначительной.

4. Содержание химических элементов в листьях и мелких корнях тополя, оказывающих прямое влияние на аккумуляцию веществ в субстратах, составляет 4,06 % на сухое вещество. Это в 1,5-1,3 раза меньше, чем у робинии и облепихи, и в 2,3 раза меньше по сравнению с эспарцетом.

5. Высокая сохранность, равная 89,4-80,0 %, присуща тополю на протяжении первых восьми лет. К 35 годам она составляет 15,4 %.

6. В возрасте 42 лет насаждение тополя имеет сохранность 11,0 %. Оставшиеся экземпляры растут по III классу бонитета, имея среднюю высоту 12,0 м и средний диаметр 36,61 см.

7. Несмотря на то что тополь бальзамический является быстрорастущей древесной породой, в условиях нарушенных земель он не формирует долговечных устойчивых насаждений и не может быть рекомендован для лесной рекультивации отвалов в техногенных ландшафтах.

Библиографический список

1. Абакумов, Е. В. Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины / Е. В. Абакумов, Э. И. Гагарина. – Санкт-Петербург, 2006. – 208 с. – ISBN: 5-288-04240-3.

2. Андрющенко, П. Ф. Рекультивация нарушенных земель в РФ / П. Ф. Андрющенко // Оптимизация ландшафтов зональных и нарушенных земель: тезисы докладов Всероссийского НПК. – Воронеж, 2005. – С. 48–49.

3. Аткин, А. С. Определение массы опада в лесных сообществах / А. С. Аткин, В. Д. Стаканов // Лесное хозяйство. – 1996. – № 2. – С. 44–45.

4. Гагарина, Э. И. Выветривание карбонатных пород в условиях Северо-Запада Русской равнины / Э. И. Гагарина // Вестник Санкт-Петербургскогоуниверситета. – 2002. – № 3. – С. 60–67.

5. Посттехногенные геосистемы как ренатурационные элементы экологического каркаса территории (на примере карьерно-отвальных комплексов КМА) / П. В. Голеусов, О. А. Чепелев, О. М. Самофалова [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 4. – С. 15–18.

6. ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения : издание официальное : дата введения 1984.07.01. – Москва : Сборник ГОСТов, 2002.

7. Зырин, Н. Г. Спектральный анализ почв, растений и других биологических объектов / Н. Г. Зырин, А. И. Обухов. – Москва, 1977. – 334 с.

8. Панков, Я. В. Быстрорастущие породы на нарушенных землях КМА / Я. В. Панков // Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам и модификации древесины : матер. междунар. науч.-практ. конференции. – Воронеж, 2000. – С. 276–279.

9. Панков, Я. В. Рекомендации по созданию лесных культур и интенсификации их роста на нарушенных землях КМА / Я. В. Панков ; Воронеж. лесотехн. ин-т, Лебедин. горно-обогат. комбинат, Науч.-исслед. ин-т по проблемам КМА. – Воронеж, 1991. – 15 с.

10. Трещевская, Э. И. Биологическая продуктивность древесных пород в насаждениях техногенных ландшафтов Курской магнитной аномалии / Э. И. Трещевская, Е. Н. Тихонова // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 3. – С. 122–130.

11. Трещевская, Э. И. Формирование двухкомпонентных техноземов для облесения техногенно нарушенных земель / Э. И. Трещевская, Е. Н. Тихонова // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: матер. науч.-техн. конференции. – Санкт-Петербург, 2016. – С.139–145. – ISBN: 978-5-9239-0840-4.

12. Adams, M.B. (ed.) The forestry reclamation approach: guide to successful reforestation of mined lands (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, 2017). – DOI:10.2737/NRS GTR-169.

13. Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine) / Yu. Bielyk, V. Savosko, Yu. Lykholat [et al.] // E3S Web of Conferences. 166. 01011. – 2020. – DOI 10.1051/e3sconf/202016601011.

14. Bonduelle, P. Poplar silviculture in short rotation coppices / P. Bonduelle // Biomass production. Informations-Foret, Afocel-Armef. 2. – 1989. – P. 1–39.

15. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions / S. Macdonald, S. Landhausser, J. Skousen [et al.] // New Forests. – 2015. – Vol. 46. – P. 703–732. – DOI:10.1007/s11056-015-9506-4.

16. Pietrzykowski, M. Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences / M. Pietrzykowski // Ecol. Eng. – 2019. – No 3. – DOI: 10.1016/j.ecoena.2019.100012.

17. Tichonova, E. N. Specific features of the humus accumulation in technogenic soils of the Kursk magnetic anomaly / E. N. Tichonova, E. I. Treschevskaya, I. V. Golyadkina // The 9-th International congress SUITMA 9 "Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services". – Moscow, 2017. – P. 459–461. – ISBN 978-5-9500292-1-9.

18. Soil development processes under different tree species post-mining sites / E. I. Treschevskaya, E. N. Tichonova, I. V. Golyadkina, T. A. Malinina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 226. – DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012012.

References

1. Abakumov E.V., Gagarina E.I. *Pochvoobrazovanie v posttehnogennykh ekosistemakh kar'erov na Severo-Zapade Russkoj ravniny* [Soil formation in post-technogenic ecosystems on Northwest of the Russian Plain]. Sankt-Peterburg, 2006, 208 p. (in Russian).

2. Andrjushchenko P.F. *Rekul'tivacija narushennykh zemel' v RF* [The reclamation of disturbed lands in Russian Federation]. *Optimizacija landshaftov zonal'nykh i narushennykh zemel': tezisy dokladov Vserossijskogo NPK* [Optimization of landscapes of zoned and disturbed lands: abstracts of reports of the All-Russian NPK]. Voronezh, 2005, pp. 48-49 (in Russian).

3. Atkin A.S., Stakanov V.D. *Opredelenie massy opada v lesnykh soobshhestvakh* [Determination of litter biomass in forest ecosystems]. *Lesnoe hozjajstvo* [Forestry]. 1996, pp. 44-45 (in Russian).

4. Gagarina E.I. (2002) *V yvetrivanie karbonatnyh porod v uslovijah Severo-Zapada Russkoj ravniny* [Weathering of carbonate rocks in the North-West of the Russian Plain]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Bulletin of St. Petersburg University], No. 3, pp. 60-67 (in Russian).

5. Goleusov P.V., Chepelev O.A., Samofalova O.M. (et al.) (2013) *Posttehnogennye geosistemy kak renaturacionnye elementy ekologicheskogo karkasa territorii (na primere kar'erno-otval'nyh kompleksov KMA)* [Post-technological geosystems as renaturation elements of the ecological framework of the territory (on the example of KMA mining and dumping complexes)]. *Problemy regional'noj ekologii* [Problems of regional ecology], no. 4, pp. 15-18 (in Russian).

6. GOST 17.5.1.01-83. *Ohrana prirody. Rekul'tivacija zemel'. Terminy i opredelenija : izdanie oficial'noe : data vvedenija 1984.07.01* [Protection of Nature. Land reclamation. Terms and definitions: official publication: date of introduction 1984.07.01.]. Moscow, 2002 (in Russian).

7. Zyrin N.G., Obukhov A.I. *Spektral'nyj analiz pochv, rastenij i drugih biologicheskih ob'ektov* [Spectral analysis of soils, plants and other biological objects]. Moscow, 1977, 334 p. (in Russian).

8. Pankov Ya.V. *Bystrorastushchie porody na narushennykh zemljakh KMA* [Fast growing species on the disturbed lands of the Kursk Magnetic anomaly]. *Integracija fundamental'noj nauki i vysshego lesotekhnicheskogo obrazovanija po problemam i modifikacii drevesiny : materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Integration of fundamental science and higher forestry education on problems and wood modification: materials of the international scientific-practical conference]. Voronezh, 2000, pp. 276-279 (in Russian).

9. Pankov Ya.V. *Rekomendacii po sozdaniju lesnyh kul'tur i intensifikacii ih rosta na narushennykh zemljakh KMA* [Recommendations on the creation of forest crops and intensification of their growth on the disturbed lands of the KMA]. Voronezh, 1991. 15 p. (in Russian).

10. Treshchevskaya E.I., Tikhonova E.N. (2015) *Biologicheskaja produktivnost' drevesnykh porod v nasazhdenijakh tehnogennykh landshaftov Kurskoj magnitnoj anomalii* [Biological productivity of tree plantations on technogenic landscapes of the Kursk Magnetic Anomaly]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forest Engineering Journal], Vol. 5, № 3, pp. 122-130 (in Russian).

11. Treshchevskaya E.I., Tikhonova E.N. *Formirovanie dvuhkomponentnykh tekhnozemov dlja oblesenija tekhnogenno narushennykh zemel* [Formation of two-component technozems for afforestation of technologically disturbed lands]. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy nauchno-tekhnicheskoj konferencii. Sankt-Peterburg, 13-15 aprelja 2016 g.* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of a scientific and technical conference. St. Petersburg, April 13-15, 2016]. Saint Petersburg, 2016, pp. 139-145 (in Russian).

12. Adams M.B. (ed.) The forestry reclamation approach: guide to successful reforestation of mined lands (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station, 2017). DOI:10.2737/NRS GTR-169.

13. Bielyk Yu., Savosko V., Lykholat Yu. (et al.) Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine). *E3S Web of Conferences*. 166. 01011. 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202016601011.

14. Bonduelle P. (1989) Poplar silviculture in short rotation coppices. *Biomass production*. Informations-Foret, Afocel-Armef. 2. pp. 1-39.

15. Macdonald S., Landhausser S., Skousen J. (et al.) (2015) Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. *New Forests*, vol. 46, pp. 703-732. DOI:10.1007/s11056-015-9506-4.

16. Pietrzykowski M. (2019) Tree species selection and reactionto mine soil reconstructed at reforested post-minesites: Central and eastern European experiences. *Ecol. Eng.,* No 3. DOI:10.1016/j.ecoena.2019.100012.

17. Tichonova E.N., Treschevskaya E.I., Golyadkina I.V. Specific features of the humus accumulation in technogenic soils of the Kursk magnetic anomaly. *The 9-th International congress SUITMA 9 "Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services", Russia, Moscow 22-26 May*. Moscow, 2017, pp. 459-461. ISBN 978-5-9500292-1-9.

18. Treschevskaya E.I., Tichonova E.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. Soil development processes under different tree species post-mining sites. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 226, Forestry 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/012012.

Сведения об авторах

Трещевская Элла Игоревна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; ведущий научный сотрудник ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: ehllt@yandex.ru.

Голядкина Инна Вячеславовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: nina1818@ yandex.ru.

Трещевская Светлана Викторовна – кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: svetik1987.08@mail.ru.

Князев Владислав Игоревич – аспирант кафедры лесных культур, селекции и лесомелиорации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: knyazzz599@gmail.com.

Кушнир Елизавета Андреевна – младший научный сотрудник ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства», г. санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: elizavettta@mail.ru.

Information about authors

Treshchevskaya Ella Igorevna – DSc (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Forest Crops, Selection and Forest Reclamation, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; Leading researcher, FBI "Saint Petersburg Forestry Research Institute", Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: ehllt@yandex.ru.

Golyadkina Inna Vyacheslavovna – PhD (Agriculture), Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: nina1818@ yandex.ru.

Treshchevskaya Svetlana Viktorovna – PhD (Agriculture), Lecturer of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: svetik1987.08@mail.ru.

Knyazev Vladislav Igorevich – Post-graduate student of the Department of Forest Crops, Selection and Forest Reclamation, FSBEI HE "Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov", Voronezh, Russian Federation; e-mail: knyazzz599@gmail.com.

Kushnir Elizaveta Andreevna – Junior researcher, FBI "Saint Petersburg Forestry Research Institute", Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: elizavettta@mail.ru.