

ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ЗАРАСТАНИИ ЗОЛОТОВАЛОВ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Н.В. Шеремет, Т.Г. Ламанова, В.М. Доронькин, Н.В. Ветлужских

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, e-mail: nsheremet@yandex.ru

Впервые приведены результаты наблюдений за особенностями начальных стадий зарастания одновозрастных участков “чистой” золы на золоотвале, расположенных в лесостепной зоне на юге Западной Сибири (г. Новосибирск, ТЭЦ-5). В ходе первичной сукцессии на золоотвале преобладает травяной тип зарастания. Выявлено 38 видов травянистых растений, 5 видов древесных и 7 видов мхов. При дефиците питательных веществ увлажнение является определяющим фактором скорости зарастания золоотвала. Описан переход от открытой растительной группировки, где проективное покрытие мхов достигает до 80 %, к серийным сообществам с доминированием травянистых видов. Наибольший вклад в надземную фитомассу на всех выделенных участках вносят злаковые виды, доминирующая роль среди которых принадлежит *Calamagrostis epigeios*. Отмечено присутствие синантропных видов (*Berteroa incana*, *Artemisia vulgaris*, *Lepidium ruderales* и др.). Вертикальная структура растительных сообществ относится к приземному типу распределения. На десятом году жизни золоотвала продуктивность воздушно-сухой фитомассы составила в открытой растительной группировке 1.5 ц/га, в тростниково-вейниковом фитоценозе – 28.0 ц/га, в донниково-вейниковом фитоценозе – 37.7 ц/га. Надземная биомасса на всей поверхности золоотвала преобладает над подземной.

Ключевые слова: золоотвалы, растительные сообщества, естественное зарастание, лесостепь, Западная Сибирь.

FORMATION OF VEGETATION OF NATURAL GROWING OVER ASH DUMPS IN SOUTHERN WEST SIBERIA

N.V. Sheremet, T.G. Lamanova, V.M. Doronkin, N.V. Vetluzhskikh

Central Siberian Botanical Garden, SB RAS,
630090, Novosibirsk, Zolotodolinskaya str., e-mail: nsheremet@yandex.ru

The article describes for the first time the results of the investigation of the initial stages of natural revegetation of the coal combustion ash dump (3 study sites, differing in water content) in the forest-steppe zone in the south of West Siberia (near Thermal Power Station 5, Novosibirsk, Russia). The primary succession of the vegetation on the dump is dominated by grasses and herbs, of which 38 species, alongside with 5 tree species and 7 moss species, were found. Under soil nutrients deficit soil water content is the main factor driving the dump revegetation rate. Transition from the open plant community with 80 % projective cover to the successional stages dominated by grasses and herbs is described. Grasses dominated by *Calamagrostis epigeios* were found to account for most of the aboveground phytomass. Synanthropic species such as *Berteroa incana*, *Artemisia vulgaris*, *Lepidium ruderales* and some others were also found. The vertical structure of the plant communities could be described as the ground type. The standing phytomass in the 10th year of revegetation of the ash dump was estimated as 150 kg/ha in the open plant community, 2800 kg/ha in the reed-smallreed community and 3770 kg/ha of the air-dried mass in the sweet-clover-smallreed community. The aboveground phytomass exceeded the belowground one in each studied dump sites.

Key words: ash dumps, plant communities, natural revegetation, forest-steppe, West Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Среди разнообразных форм антропогенного нарушения целостности ландшафтов не последнее место занимают золоотвалы тепловых электростанций, которые являются источником негативного воздействия на подземные воды (вследствие фильтрации химических веществ) и на атмосферный воздух (вследствие ветровой эрозии). В связи

с этим весьма актуальны работы по оценке экологического состояния, определению скорости естественного восстановления растительного покрова для выяснения перспективы снижения негативного влияния на окружающую среду. Изучению формирования растительного покрова в процессе самозарастания золоотвалов тепловых электростан-

ций большое внимание уделяют в нашей стране и за рубежом (Пасынкова, 1974; Серая, Шубин, 1976; Махнев и др., 2002; Чибрик и др., 2004; Канав, 2016; Pandey, 2015; Pandey et al., 2015; Żoźniercz et al., 2016).

Золоотвал № 1 ТЭЦ-5 расположен в черте г. Новосибирска вблизи водораздела рек Ини и Плющихи. Золоотвалы сложены золой углей шахт и разрезов Кузнецкого угольного бассейна, большинство углей бассейна – каменные. Он введен

в эксплуатацию в 1987 г., подача золошлакового материала прекращена в 2008 г., поэтому на момент исследования условный возраст золоотвала составляет 10 лет. Площадь участка золоотвала, оставленная под самозарастание, – 17,7 га, нанесения плодородного слоя почвы (ПСП) не проводилось.

Цель исследований – изучить процессы самовосстановления растительности на начальных этапах естественного зарастания золоотвала ТЭЦ-5 (г. Новосибирск) без отсыпки ПСП.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

По агроклиматическому районированию Новосибирская область входит в лесостепную зону Северо-Предалтайской провинции (Шашко, 1985). Климатические показатели в Новосибирске следующие: сумма температур выше 10 °С – 1926 °С; годовая сумма осадков от 300 до 400 мм; безморозный период продолжается в среднем 119 дней; средняя температура июля 17–20 °С.

Зональным типом почв являются серые лесные. Ландшафт района складывается из сочетания березовых колков, чередующихся с безлесными пространствами, занятыми суходольными лугами и фрагментами степной растительности. В настоящее время на прилегающей к отвалам территории сохранились небольшие участки березового леса со злаково-снытьевым покровом (в подлеске господствуют рябина сибирская, калина обыкновенная, боярышник кроваво-красный, сосна обыкновенная). Древесный полог образован преимущественно березой повислой (*Betula pendula* Roth). Травяной покров хорошо развит, основными доминантами являются злаки *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds., среди разнотравья большую долю в травяном покрове занимают *Aegopodium podagraria* L., *Galium boreale* L., *Lilium martagon* L. В покрове присутствует мох *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.

Собирали материал в июле–августе 2017, 2018 гг. Для изучения флористического состава сообществ проведен сбор гербарных материалов и сделаны полные геоботанические описания (Воронцов, 1973). Название фитоценозов приведено по доминирующим видам.

Для определения продуктивности надземной фитомассы и состава хозяйственно-ботанических групп в четырехкратной повторности взяты поперечные укосы. Продуктивность подземной фитомассы определялась в 2018 г. методом выемки почвенных монолитов с помощью бура по слоям: 0–10, 10–20 см (предварительные наблюдения показали, что на золоотвале корневая система растений глубже 15–20 см практически не проникает). Кор-

невые системы отмывали, высушивали и взвешивали. Повторность взятия проб четырехкратная.

Оценка продуктивности растительности участков самозарастания ТЭЦ-5 проведена в сравнении с данными по изучению растительных сообществ, формирующихся на золоотвалах Южного Урала. Золоотвалы Южноуральской ГРЭС расположены рядом с г. Южноуральск на юге Челябинской области в лесостепной зоне. Район их местонахождения по термическим условиям теплый, сумма среднесуточных температур с температурой выше 10 °С составляет 2000–2200 °С. По степени увлажнения район умеренно влажный, годовое количество осадков 300–400 мм в год. Безморозный период 110–120 дней, средняя температура июля 23 °С. Ландшафт района характеризуется разбросанными по всей территории березовыми, реже березово-осиновыми колками, чередующимися с безлесными пространствами, занятыми луговыми степями. “Старый” золоотвал вплотную примыкает к территории электростанции, площадь его составляет 68 га. Сложен золой углей шахт и разрезов Челябинского угольного бассейна, большинство углей которого бурые, небольшая часть – каменные. Эксплуатация его прекращена в начале 60-х годов прошлого века. В 1964–1966 гг. на всей поверхности золоотвала была проведена рекультивация, для сравнения были оставлены участки под самозарастание, где и изучали формирование растительных сообществ на участке самозарастания “чистого” зольного субстрата (Пикалова и др., 1974; Махнев и др., 2002). Условный возраст золоотвала на момент обследования (1970 г.) 10 лет. На участках самозарастания сформировалась разнотравно-полынная растительная группировка, в травостое которой преобладали *Artemisia absinthium* L., *A. campestris* L., *A. dracunculus* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Sal-sola collina* Pall., *Lepidium ruderales* L. Растения встречались одиночными экземплярами и небольшими группами. Проективное покрытие местами достигало 40 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На участках, где проходило изучение самовосстановления растительности на золоотвале ТЭЦ-5, поселение растений происходило на свободный минеральный субстрат, поэтому восстановительные сукцессии идут по типу первичных. Заселение техногенных местообитаний осуществляется за счет ресурсов местной флоры.

При изучении начальных стадий зарастания золоотвала ТЭЦ-5 выделено три участка, на которых при увеличении локального увлажнения заметен переход от открытой группировки к донниково-вейниковому и далее к тростниково-вейниковому фитоценозам (Sheremet et al., 2018).

На 10-м году жизни (2018 г.) растительных сообществ отмечено следующее. Первичные сукцессии на золоотвале характеризуются травяным типом зарастания. На всех участках самозарастания зольного субстрата преобладают травянистые растения (38 видов), древесные растения немногочисленны (5 видов), мхи представлены 7 видами.

На участке № 1 (площадь 4 га) мхи покрывают 80 % поверхности участка, в качестве доминантов отмечены *Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wits., *Bryum* sp. Кроме того, встречаются *Funaria hygrometrica* Hedw. и *Bryum argenteum* Hedw.

Цветковые растения сформировали открытую разнотравно-вейниковую с облепихой крушиновидной группировку – (*Calamagrostis epigeios* + *Berteroa incana* + *Artemisia vulgaris* – *Hippophaë rhamnoides*). Растительность участка представлена видами местной флоры, среди которых много сорно-рудеральных видов (*Turritis glabra* L., *Verbascum thapsus* L., *Lepidium ruderales* L. и др.). В основном это одиночные растения, произрастающие на незначительной площади исследуемого участка. Общее проективное покрытие (ОПП) составляет 3 % при средней высоте травостоя 40 см.

Из древесных видов встречаются подрост облепихи крушиновидной (*Hippophaë rhamnoides* L.) и тополя пирамидального (*Populus italica* Du Roi).

На участке № 2 (6.2 га) сформировалось донниково-вейниковое серийное сообщество (*Calamagrostis epigeios* + *Melilotus albus*). Травостой довольно густой, средняя высота достигает 130 см. Общее проективное покрытие всех видов составляет 80 %. Относительно равномерное распределение вейника наземного по площади золоотвала обусловлено биологическими особенностями вида, а именно, способностью его быстро расселяться за счет корневищ. Закономерность широкого распространения при большом обилии донника белого на участках золоотвала без нанесения грунта, отмеченная на золоотвалах Верхнетагильской ГРЭС на Урале (Махнев и др., 2002), подтверждается результатами наших наблюдений. В отличие от

вейника, донник распределяется по поверхности золоотвала пятнами, обуславливая мозаичность сообщества.

На участке № 3 (7.5 га) сформировалось тростниково-вейниковое серийное сообщество (*Calamagrostis epigeios* + *Phragmites australis*). Травостой однородный со средней высотой 110 см, ОПП 50 %. На участках с повышенным увлажнением присутствуют гидрофиты *Thypha laxmannii* Lepech., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Для территории характерно периодическое затопление. На данном участке произрастает три вида мхов (*Barbula unguiculata* Hedw., *Bryum* cf. *caespitium* Hedw., *Ditrichum pusillum* (Hedw.) Hampe). Среди древесных отмечены два вида ив (*Salix caprea* L., *S. viminalis* L.), высота которых может достигать 2 м.

Анализ хозяйственно-ботанических групп показал преобладание злаков на всех участках (рис. 1). Среди злаков к числу доминантов на всех трех участках относится *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, который за счет образования корневищами прочной дернины закрепляет зольный субстрат и способствует пылеподавлению. Наибольшее участие злаков отмечено на третьем участке, где к числу доминантов среди них также можно отнести тростник южный (*Phragmites australis*) и полевицу гигантскую (*Agrostis gigantea* Roth.). Бобовые на первом участке представлены двумя видами (*Medicago lupulina* L. и *M. albus* Medic.). Последний вид вместе с вейником наземным является доминантом и на втором участке. На третьем участке представители семейства бобовых отсутствуют. Группа разнотравья широко представлена на первом участке, где преобладают икотник серый (*Berteroa incana*) и полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.).

По типу распределения надземной фитомассы по вертикальному профилю различают приземный, средний и растянутый (Павлова, 1980). Приземный тип распределения характерен для пастбищных лугов, при котором 85 % надземной фитомассы травостоя сосредоточено на высоте 0–40 см. При среднем типе распределения основная часть надземной фитомассы располагается на высоте 0–50 см от поверхности почвы. Он встречается в наиболее сложноорганизованных полидоминантных лугах с преобладанием злаков и бобовых. Растянутый тип отмечается в высокотравных лесных лугах, где основная надземная фитомасса сосредоточена на высоте 60 см и выше.

В изучаемых растительных сообществах на золоотвале на 10-м году жизни растительных сообществ были отмечены два типа распределения надземной фитомассы травостоя (рис. 2). При-

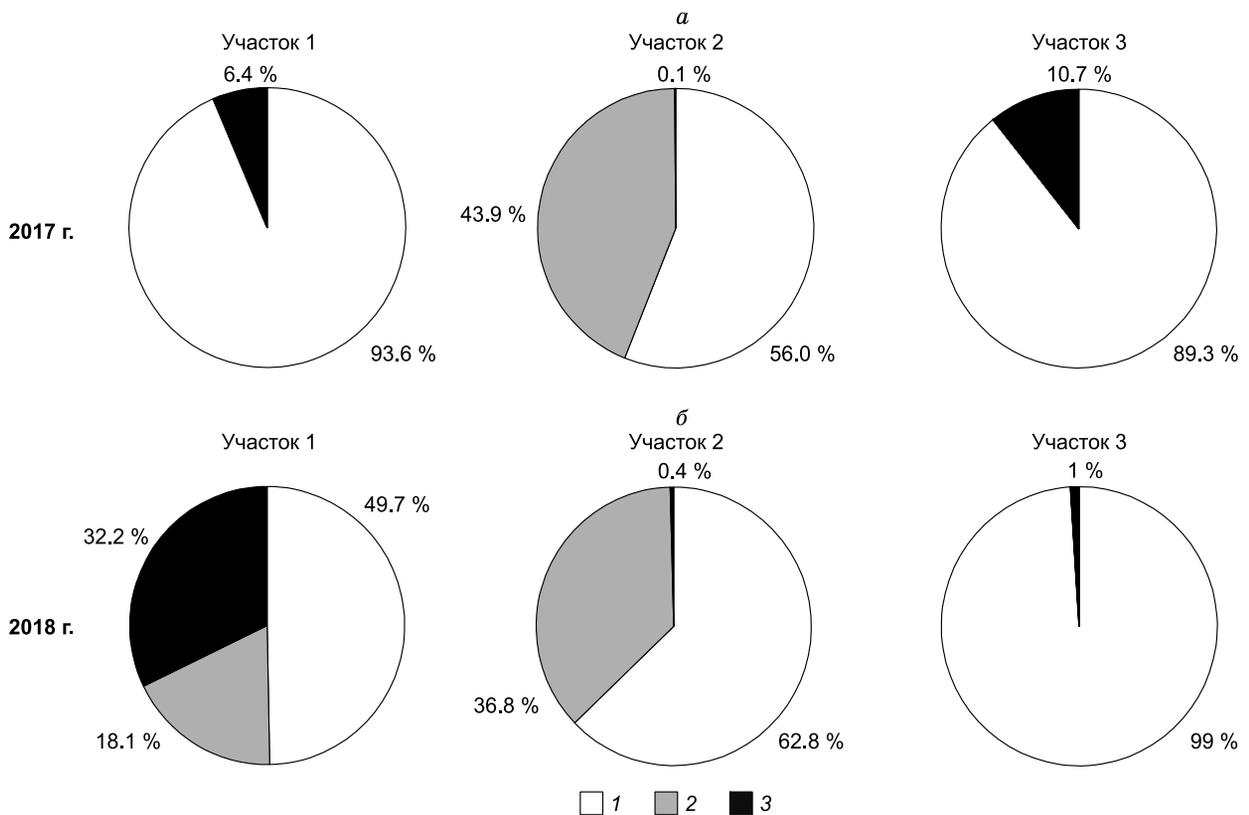


Рис. 1. Состав хозяйственно-ботанических групп при естественном зарастании золоотвалов, сформированных в лесостепи на юге Западной Сибири:

1 – злаки; 2 – бобовые; 3 – разнотравье.

земное распределение наблюдалось на первом и третьем участках, растянутое – на втором, что обусловлено доминированием в травостое *Melilotus albus*. Распределение надземной фитомассы по слоям в 10 см на всех участках имело форму пирамиды, которая характерна для зональных со-

обществ (Павлова, 1980), и при которой происходит максимальное использование поступающей энергии.

Количество производимой органической массы является основным свойством растительного сообщества, характеризующим степень использо-

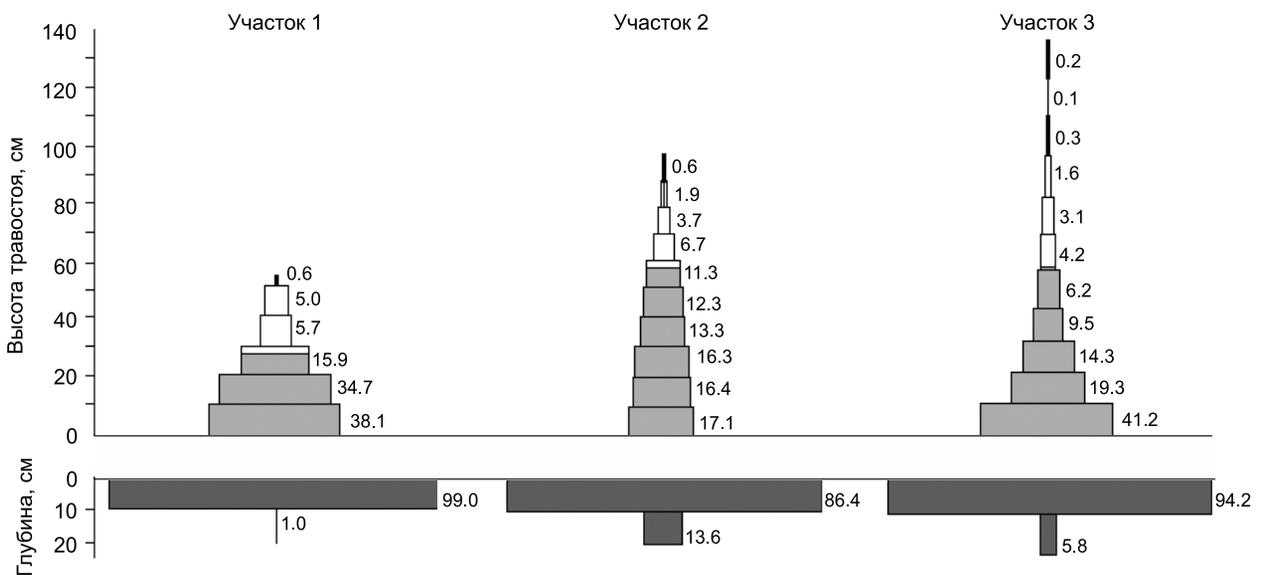


Рис. 2. Распределение по вертикальному профилю (по слоям 10 см) надземной и подземной фитомассы (%) на 10-й год жизни на золоотвалах ТЭЦ-5 (г. Новосибирск).

вания им энергии солнца в данных условиях. Воздушно-сухая надземная фитомасса при естественном зарастании золоотвалов Южноуральской ГРЭС на Южном Урале на 10-м году жизни составила 3.9 ц/га (рис. 3). Воздушно-сухая надземная фитомасса растительных сообществ при естественном зарастании золоотвала ТЭЦ-5 на юге Западной Сибири на 10-м году их жизни превышает данное значение более чем в 9 раз – на втором участке (37.7 ц/га), в 7 раз – на третьем (28.0 ц/га) и в 2.6 раза ниже на первом (1.5 ц/га).

Начальная стадия первичной сукцессии характеризуется ежегодными колебаниями фитомассы отдельных видов. В бобово-злаковом фитоценозе за два года исследований фитомасса оказалась максимальной в более сухом 2017 г., когда основная ее часть была сформирована двулетним донником белым. В следующем, 2018 г., влажном и умеренно тепло, величина фитомассы была ниже в 1.3 раза, так как при отмирании основной доминант не был замещен каким-либо другим видом. В злаковом фитоценозе в 2018 г. снизила свое обилие *Agrostis gigantea*, увеличилась фитомасса *Phragmites australis*.

При оценке продуктивности травостоя растительных группировок, образовавшихся на золоотвале, особый интерес представляет подземная фитомасса. Она позволяет судить о степени закрепления зольного субстрата, накоплении в нем питательных веществ. Количественный учет подземной фитомассы корней при самозарастании золоотвала ТЭЦ-5 на 10-м году его жизни показал большую насыщенность корнями верхнего слоя (до 10 см), в слое 10–20 см из-за уплотнения субстрата количество их довольно резко снижается (см. рис. 2). Продуктивность данного горизонта составляет от 1 до 13.6 % от общего показателя по профилю. Самые высокие значения запасов подземной фитомассы выявлены на участках с повышенным увлажнением, где формируются донниково-вейниковый (14.6 ц/га) и тростниково-вейни-

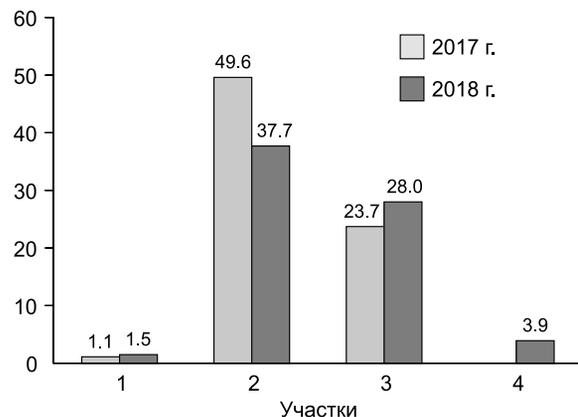


Рис. 3. Воздушно-сухая надземная фитомасса (ц/га) при естественном зарастании золоотвалов в лесостепи на юге Западной Сибири и Южном Урале:

1, 2, 3 – участки ТЭЦ-5 (г. Новосибирск); 4 – Южноуральская ГРЭС (г. Южноуральск).

ковый (24.3 ц/га) фитоценозы, что значительно превышает аналогичные показатели для открытой растительной группировки (0.8 ц/га) (см. таблицу). Продуктивность подземной фитомассы в разнотравно-полюнной растительной группировке на золоотвале Южноуральской ГРЭС (2.8 ц/га) выше продуктивности подземной фитомассы на любом из участков золоотвала ТЭЦ-5 в г. Новосибирске. Надземная биомасса на всей поверхности золоотвала преобладает над подземной. Более медленное накопление подземного вещества отмечалось также для растительных сообществ на золоотвале в лесостепи Южного Урала.

При естественном зарастании золоотвалов, созданных в лесостепной зоне на юге Западной Сибири, на 10-м году жизни отмечалось высокое накопление отмершей растительной массы в растительной группировке на первом участке, где она преобладает над фитомассой (см. таблицу). В связи с лучшими условиями увлажнения на участках, где сформировались фитоценозы, разложение мортмассы идет более быстрыми темпами, поэтому на этих участках доминирует фитомасса.

Продуктивность фитомассы (ц/га) при естественном зарастании 10-летних золоотвалов ТЭЦ-5 (г. Новосибирск) и Южноуральской ГРЭС (г. Южноуральск)

Компонент фитомассы	Золоотвал ТЭЦ-5			Золоотвал Южноуральской ГРЭС
	Открытая растительная группировка	Донниково-вейниковый фитоценоз	Тростниково-вейниковый фитоценоз	Первичная разнотравно-полюнная группировка
Надземная фитомасса	2.9	46.3	34.7	–*
мортмасса	1.5	37.7	28.0	3.9
Подземная	1.4	8.6	6.7	–
Общая	0.8	14.6	24.3	2.8
	3.7	60.9	59.0	6.7

* Прочерк – нет данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение особенностей самовосстановления растительности на 10-м году жизни золоотвала ТЭЦ-5 (г. Новосибирск), расположенного в лесостепной зоне на юге Западной Сибири, проведенное для этого региона впервые, позволяет отметить следующее.

В ходе первичной сукцессии при увеличении локального увлажнения на поверхности золоотвала заметен переход от открытой группировки к донниково-вейниковому и далее к тростниково-вейниковому серийным фитоценозам.

На всей поверхности участков зольного субстрата преобладают травянистые растения (38 видов), древесные немногочисленны (5 видов), мхи представлены 7 видами. Наибольший вклад в продуктивность надземной фитомассы во всех выделенных растительных сообществах вносят злаки. Доминирующая роль в фитоценозах среди злаков принадлежит вейнику наземному и тростнику южному, а среди бобовых – доннику белому.

Вертикальная структура растительных сообществ характеризуется значительной высотой травостоя, основная масса которого в двух растительных сообществах заключена в слое 0–40 см (приземный тип распределения).

На 10-м году жизни золоотвала продуктивность воздушно-сухой фитомассы составила в открытой растительной группировке – 1.5 ц/га, в тростниково-вейниковом фитоценозе – 28.0 ц/га, в донниково-вейниковом фитоценозе – 37.7 ц/га. Продуктивность надземной фитомассы растительных сообществ на золоотвалах на юге Западной Сибири выше продуктивности первичной группировки на золоотвале Южноуральской ГРЭС (3.9 ц/га).

Самые высокие значения продуктивности подземной фиомассы выявлены на участках с повышенным увлажнением в донниково-вейниковом (14.6 ц/га) и тростниково-вейниковом (24.3 ц/га) фитоценозах и значительно превышают аналогичные показатели открытой растительной группировки (0.8 ц/га). Полученные показатели выше показателей продуктивности подземной фитомассы первичной разнотравно-попынной группировки, сформированной на золоотвале Южноуральской ГРЭС (2.8 ц/га). В растительной группировке преобладает мортмасса над фитомассой, в серийных растительных сообществах разложение мортмассы происходит более быстрыми темпами.

Надземная фитомасса на всей поверхности золоотвала преобладает над подземной. Эта же закономерность отмечалась и на золоотвале в лесостепной зоне Южного Урала.

Каменноугольные золоотвалы ТЭЦ-5 в лесостепной зоне на юге Западной Сибири более благоприятны для формирования растительных сообществ, чем бурогольные золоотвалы в лесостепной зоне Южного Урала.

Благодарности. Приносим благодарность д.б.н. О.Ю. Писаренко (ЦСБС СО РАН, г. Новосибирск) за определение видового состава мхов и О.А. Савенкову, М.С. Шеремету, В.В. Доронькину за помощь при сборе материала по продуктивности подземной фитомассы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Новосибирской области в рамках проекта № 18-44-540002 p_a.

ЛИТЕРАТУРА

- Воронов А.Г.** Геоботаника / А.Г. Воронов. М., 1973. 384 с.
- Канаев А.Т., Бекебаева М.О., Айтжанова А.М., Омирзакова А.Н., Коньсбаева А.А.** Оценка состояния растительных сообществ в хвостах отвалов ТЭЦ-2 г. Алматы // Междунар. журн. прикл. и фундамент. исследований. Пенза, 2016. № 4–4. С. 727–731.
- Махнев А.К.** Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А.К. Махнев [и др.]. Екатеринбург, 2002. 356 с.
- Павлова Г.Г.** Суходольные луга Средней Сибири / Г.Г. Павлова. Новосибирск, 1980. 213 с.
- Пасынкова М.В.** Зола углей как субстрат для выращивания растений // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 29–44.
- Пикалова Г.М., Серая Г.П., Пасынкова М.В., Левит С.Я., Шубин Ф.М., Комаров С.В.** Некоторые закономерности формирования культурфитоценозов на золоотвалах ТЭЦ Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 69–96.
- Серая Г.П., Шубин Ф.М.** Особенности роста и развития пионерных растений при выращивании их на каменноугольной золе // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1976. С. 56–62.
- Чибрик Т.С.** Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала / Т.С. Чибрик, Н.В. Лукина, М.А. Глазырина. Екатеринбург, 2004. 158 с.
- Шашко Д.И.** Агроклиматические ресурсы СССР / Д.И. Шашко. Л., 1985. 248 с.
- Pandey V.Ch.** Assisted phytoremediation of fly ash dumps through naturally colonized plants // Ecologi-

- cal Engineering. 2015. V. 82. P. 1–5. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.002>
- Pandey V.Ch., Prakash P., Bajpai O., Kumar A., Singh N.** Phytodiversity on fly ash deposits: evaluation of naturally colonized species for sustainable phytorestitution // *Environ. Sci. Poll. Res.* 2015. V. 22. P. 2776–2787. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3517-0>
- Sheremet N., Belanov I., Doronkin V., Lamanova T., Naumova N.** Biogeocenosis development during initial revegetation of a coal combustion ash dump // *Prospects of Development and challenges of Modern Botany.* 2018. V. 11. 6 p. URL: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181100038>
- Żołnierz L., Weber J., Gilewska M., Strączyńska S., Pruchniewicz D.** The spontaneous development of understory vegetation on reclaimed and afforested post-mine excavation filled with fly ash // *CATENA.* 2016. V. 136. P. 84–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.013>