

УДК 581.55:631.524.84+631.618

ФИТОМАССА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА ОТВАЛАХ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ

О. В. Трефилова¹, Д. Ю. Ефимов¹, П. А. Оскорбин², Р. Т. Мурзакматов¹

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – Обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

² Министерство лесного хозяйства Красноярского края
660009, Красноярск, ул. Ленина, 125

E-mail: ovtrefilova_ilsoran@mail.ru, dnsfmv@gmail.com, ospa@kyrles.akadem.ru, takcator_m@mail.ru

Поступила в редакцию 30.09.2015 г.

Дана оценка запаса, структуры и динамики растительных сообществ, формирующихся на рекультивированных отвалах Бородинского бурогольного разреза Канско-Ачинского угольного бассейна. Изучали фитоценозы 7- и 34-летних отвалов, рекультивированных с нанесением плодородного слоя почвы (ПСП) и без ПСП, и откосов отвалов. Наблюдения проводили в 2007–2009 и в 2013 гг. Установлено, что в первый год на отвалах, рекультивированных с нанесением ПСП, формируется сплошной травянистый покров, характеризующийся высокой продуктивностью. Основная часть фитомассы сообществ сосредоточена в толще насыпного слоя 0–10 см. В течение следующих двух десятков лет запас фитомассы снизился более чем в 2 раза. Такие фитоценозы достигают зонального уровня по запасу и структуре фитомассы не ранее чем через 30 лет. Для растительных сообществ 31–34-летних отвалов характерны значительные колебания величин надземной фитомассы по годам, что указывает на их «незрелость». Ускорению накопления фитомассы ценозов, формирующихся на литостратах – малопродуктивных техногенных поверхностных образованиях (ТПО), способствует создание культур сосны. Запас фитомассы в сосновых фитоценозах немногим выше (на 15 %), чем в сообществах близкого возраста, развивающихся на отвалах с ПСП. Откосы рекультивированных отвалов в отличие от выровненной поверхности зарастают медленнее, а формирующийся на них растительный покров характеризуется не только низким уровнем проективного покрытия, но и меньшей продуктивностью. В структуре фитомассы растительных сообществ преобладает масса надземных органов.

Ключевые слова: продуктивность, структура запаса фитомассы, рекультивация отвалов, восстановление растительности, Канско-Ачинский угольный бассейн.

DOI: 10.15372/SJFS20160604

ВВЕДЕНИЕ

В результате открытой добычи полезных ископаемых в пределах нарушенных территорий формируются специфические экотопы, не имеющие природных аналогов, часто экстремальные. Они представляют собой арену для первичного становления и развития биоценологических компонентов и биогеоценозов (БГЦ) в целом. Поскольку основой функционирования БГЦ является способность растений продуцировать органическое вещество (Сукачев, 1964; Дылис, 1978), изучение динамики запаса и структуры фитомассы посттехногенных БГЦ имеет особую актуальность.

Такие параметры продукционного процесса, как запас и структура фитомассы, являясь отражением взаимодействия растительности с другими компонентами БГЦ, рассматриваются в качестве интегральных при изучении состояния и динамики БГЦ (Программа..., 1966; Титлянова и др., 1988; Сукцессии..., 1993 и др.). По запасам и структуре фитомассы накоплен и обобщен огромный массив данных (Углерод..., 1994; Усольцев, 2001, 2010 и др.), выявлены географические закономерности изменения параметров продукционных процессов (Родин, Базилевич, 1965; Базилевич и др., 1986; Базилевич, 1993; Углерод..., 1994). Однако большая часть публикаций отражает количественные оценки пара-

метров продуктивности растительных сообществ, формирующихся на естественных почвах. Опубликованных данных по запасам и структуре фитомассы техногенных БГЦ гораздо меньше, особенно для Сибирского региона. В Сибири они получены в основном для растительных сообществ породных отвалов Кузбасса и западной части Канско-Ачинского угольного бассейна в пределах Ачинско-Боготольской лесостепной зоны (Кандрашин, 1979; Титлянова и др., 1988; Шугалей, Яшихин, 1990; Сукцессии..., 1993; Шугалей, 1997 и др.). На восточной окраине Канско-Ачинского угольного бассейна (Канская лесостепь) такие исследования не проводились.

Цель данной работы – сравнительная оценка продуктивности растительных сообществ, формирующихся на рекультивированных породных отвалах разного возраста.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на пробных площадях (ПП) экспериментального полигона (55°52' с. ш., 94°54' в. д.) Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, заложенного на территории Бородинского (Канская котловина) угольного разреза – одного из крупнейших в Канско-Ачинском бассейне.

Растительный покров изучаемой территории формируется в условиях умеренно прохладного, умеренно влажного (ГТК = 1.2) агроклиматического района, расположенного в умерен-

ном климатическом поясе (Агроклиматический справочник..., 1961). Среднегодовая температура воздуха не превышает 0.6 °С. В среднем за год выпадает 375–400 мм осадков, в том числе 200 мм за период с температурой выше 10 °С (Научно-прикладной справочник..., 1990).

В структуре почвенного покрова участков, не нарушенных горными работами, преобладают агрочерноземы, лугово-черноземные и серые лесные длительно сезонно-мерзлые почвы (Орловский, 1968; Сергеев, 1971).

Участки для ПП (табл. 1) подбирали таким образом, чтобы охарактеризовать растительные сообщества, преобладающие в структуре рекультивационных полей, с учетом гетерогенности последних по направлению рекультивации (сельско- или лесохозяйственная) и уклону поверхности (выровненные участки, откосы отвалов).

Поскольку большая часть земель, отведенных под разработку угольного разреза, изъята из сельскохозяйственного оборота, исходное состояние луговых сообществ оценивалось на примере залежного сельскохозяйственного поля (ПП 3).

Гумусированная толща, снимаемая с поверхности при проведении вскрышных работ, в основном залежных почв черноземного ряда, служит материалом плодородного слоя почв, насыпаемого на поверхность спланированных отвалов, рекультивируемых для сельскохозяйственного производства. Созданные таким образом

Таблица 1. Характеристика почвенно-растительного покрова на ПП

Пробная площадь	Год создания отвала	Общее название растительности отвалов	Число видов	Проективное покрытие, %	ТПО, почва
<i>Отвалы с ПСП</i>					
ПП 1	2006	Разнотравно-злаковые группировки с преобладанием рудеральных видов	68	83 ± 6	Реплантоземы
ПП 2	1979	Разнотравно-злаковые сообщества с участием сорных видов	72	83 ± 6	»
<i>Природное сообщество</i>					
ПП 3	Контроль	Залежный луг	46	76 ± 4	Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный
<i>Откосы отвалов</i>					
ПП 4	1982	Разнотравно-злаковые сообщества с участием сорных видов	28	54 ± 4	Литостраты
<i>Спланированные отвалы без ПСП</i>					
ПП 5	1979	Березово-осиновый мертвопокровный лес	23	10 ± 2	»
ПП 6	2006	Культуры сосны с группировками сорных видов	50	57 ± 5	»

насыпные почвы (ПП 1 и ПП 2) классифицируются как ТПО подгруппы реплантоземы группы квазиземы (Классификация..., 2004). Верхний насыпной слой (0–20 см) реплантоземов отличается хорошей обеспеченностью минеральными элементами питания, высокой гумусированностью, нейтральной реакцией почвенного раствора (Трефилова и др., 2014). Содержание гумуса в более глубоких слоях породного отвала снижается до 2–3 %, повышается щелочность.

На отвалах, рекультивированных без нанесения ПСП, и откосах отвалов формируются ТПО подгруппы литостраты группы натурфабрикаты. Молодые почвы нейтральны ($\text{pH}_{\text{водн}}$ 6.7–7.0), отличаются низким содержанием фосфора – 4–12 мг · кг⁻¹ почвы. Верхний слой 0–10 см хорошо обеспечен минеральным азотом: 19.7–39.0 и 22–69 мг · кг⁻¹ на участках под лесной и травянистой растительностью соответственно. Довольно высокие показатели содержания гумуса (2.5–5.0 %) литостратов, вероятно, обусловлены присутствием окисленного угля и углистой пыли.

Растительный покров ПП изучали по общепринятым геоботаническим методикам (Полевая геоботаника, 1976). В пределах подобранных участков заложили 27 временных ПП (1 × 10 м, 2 × 5 м), на которых выполняли геоботанические описания. Учитывали видовой состав, проективное покрытие и обилие видов растений, горизонтальное и вертикальное строение их группировок. Биоморфы растений приведены по классификации И. Г. Серебрякова (1962), названия таксонов – по сводке С. К. Черепанова (1995).

Запас надземной фитомассы *травянистых сообществ* определяли в начале осени в 2007–2009 гг. и в 2013 г. на участках площадью 0.25 м² в 5–10-кратной повторности методом укосов: надземную часть растений срезали на уровне почвы, выделяли массу живых растений, взвешивали (Родин, Базилевич, 1965). В 2013 г. укосы разбирали по хозяйственно-ботаническим группам: злаки, разнотравье, бобовые. Все величины запаса фитомассы пересчитывали на абсолютно сухое вещество.

Для оценки результатов измерений запаса фитомассы надземной части напочвенного покрова рассчитывали стандартные статистики: среднее арифметическое, ошибку среднего значения и коэффициент вариации. Поскольку полученные выборки данных не подчинялись нормальному закону распределения, для выяснения статистической значимости различий

значений фитомассы по ПП использовали непараметрический тест Краскала–Уоллиса (H). При этом данные выборки ранжировали и попарно сравнивали их медианы (Кобзарь, 2006). Если в результате сравнения расчетные значения p -уровня превышали критический уровень значимости 0.05, то различия значений фитомассы признавали несущественными.

На ПП, характеризующих *лесные насаждения*, определение запаса фитомассы сообщества (по состоянию на 2013 г.) предваряли сплошным пересчетом и определением биометрических параметров древесных растений. На основании полученных данных рассчитывали средние таксационные характеристики древостоев.

Запасы надземной части фитомассы *культур сосны* и ее отдельных фракций получены регрессионным методом, основы которого раскрыты в работе В. А. Усольцева (2007). В качестве аргумента при составлении регрессионных уравнений зависимости массы абсолютно сухого вещества отдельных фракций фитомассы модельных деревьев от их биометрических параметров использовали произведения квадрата диаметра на высоте 1.3 м на общую высоту дерева (D^2H). Данный прием широко применяется на практике (Уткин и др., 1997; Wirth et al., 1999 и др.).

Процедура, по которой проводили обработку модельных деревьев, детально описана в работе А. А. Молчанова и В. В. Смирнова (1967). Для оценки запаса фракций фитомассы культур подбирали 5 модельных деревьев, массу веток модельного дерева подразделяли по частям кроны (верхняя, средняя, нижняя) и взвешивали отдельно. Для каждой из частей кроны подбирали модельные ветки, которые фракционировали на стволики ветвей и хвою. Определяли абсолютно-сухую массу фракций дерева (ствол, ветки, хвоя, корни).

Оценки запаса фракций фитомассы 32-летнего *березово-осинового насаждения* (в том числе скелетных корней) получены расчетным путем с привлечением опубликованных данных (Шевелев, Субочев, 1983; Спицына, 1990, 1996; Усольцев, 2001, 2010).

Массу скелетных корней (диаметром более 10 мм) в культурах сосны определяли в результате раскопки корневых систем модельных деревьев.

Общую массу корней диаметром менее 10 мм на всех участках (ПП 1–6) определяли в 2013 г. методом почвенных монолитов (15 × 15 см до глубины 20 см, $n = 3–5$). Из монолитов корневую массу отмывали от мелкозема в проточной воде

на колонке почвенных сит с минимальным диаметром ячеей 0.5 мм. Из отмытой корневой массы сообществ отбирали живые корни, фракционируя последние на группы по диаметру: тонкие ($d < 2$ мм), прочие ($d = 2-10$ мм) и скелетные ($d > 10$ мм). Корни травянистых сообществ, как правило, не превышают 2 мм в диаметре, их ранжировали на корни первого и последующих порядков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Большая часть площади породных отвалов (80 %) Бородинского разреза рекультивирована. В структуре таких земель 45 % приходится на отвалы, восстановленные с нанесением ПСП, оставленные под самозарастание.

На насыпных почвах (подгруппа ТПО реплантоземы) растительный покров формируется практически сразу после нанесения ПСП на спланированные породные отвалы. В состав пионерных группировок, как правило, входят представители сорных и рудеральных видов растений: конопля сорная *Cannabis ruderalis* Janisch., чертополох курчавый *Carduus crispus* L., горец птичий *Polygonum aviculare* L., гречишка вьюнковая *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love и др. Упомянутые виды растений являются малолетниками, обладают высокой жизнеспособностью и рядом адаптивных биологических свойств: высокой толерантностью к условиям роста, более быстрым ростом и укороченным вегетационным

периодом, большой энергией размножения (Часовенная, 1975). В условиях лесостепной зоны такие растения быстро захватывают свободное пространство отвалов, формируя покров, характеризующийся высокой сомкнутостью, продуктивностью, но обладают низкой ценотической или конкурентной мощностью и довольно быстро сокращают свое участие в структуре растительных сообществ (Кандрашин, 1979).

В пределах изучаемой территории запас фитомассы надземной части группировок сорно-рудерального крупнотравья, представляющих однолетние фитоценозы, составляет $14.9 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$ при общем проективном покрытии 70 %. Для залежного луга (контроль) аналогичные показатели того же сезона не достигают $16 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$ при проективном покрытии трав 55 % (рис. 1, ПП 1 и ПП 3, 2007 г.).

Видовой состав пионерной растительности довольно быстро дополняется и изменяется. Уже к 7-летнему возрасту по богатству ценофлоры превосходит контроль (см. табл. 1) и приближается к зональным показателям (Ефимов, Шишкин, 2014). Число видов увеличивается от 25 до 62 в 5-летних и до 68 в 7-летних сообществах (см. табл. 1). Преобладающие в составе пионерной растительности малолетники сменяются поликарпическими травами, такими как мятлик луговой *Poa pratensis* L., пырей ползучий *Elytrigia repens* (L.) Nevski, бодяк щетинистый *Cirsium setosum* (Willd.) Besser, кипрей узколистный *Chamaenerion angustifolium* (L.)

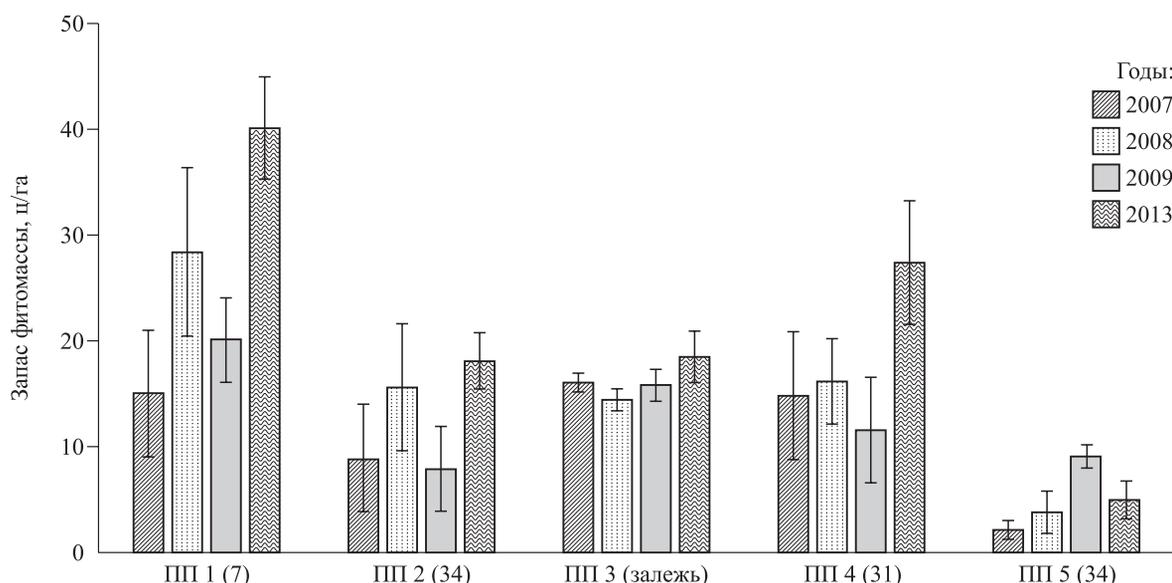


Рис. 1. Динамика запаса фитомассы напочвенного покрова на пробных площадях. Пределы погрешности отражают разброс величин ошибки среднего значения. В скобках здесь и в рис. 2–6 указан возраст отвала по состоянию на 2013 г.

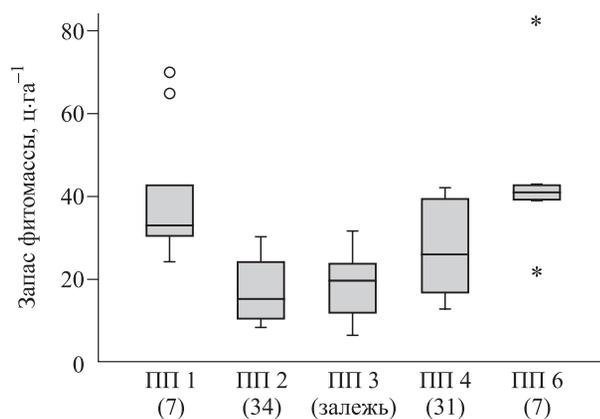


Рис. 2. Вариабельность запаса фитомассы напочвенного покрова на пробных площадях. Обозначены: медиана – линия внутри коробки; 25 и 75 % квартили – границы коробки; минимальные и максимальные значения внутри «ограды» – усы; значения (выбросы), превышающие 1.5 межквартильных расстояния, – кружочки; 3 межквартильных расстояния – звездочки.

Скор. и др. В 2012–2013 гг. проективное покрытие сохранялось на уровне 83 %.

Высокое видовое разнообразие группировок на начальных стадиях восстановления, вероятно, обусловлено особенностями технологии рекультивации. Насыпаемый при формировании реплантоземов слой ПСП, содержащий обильный «банк» семян и семязачатков из окружающих разрез фоновых и антропогенно трансформированных биогеоценозов, обеспечивает стремительное заселение и видовое насыщение растительных сообществ рекультивированных отвалов угольного разреза.

На ранних этапах восстановления растительного покрова отвалов, рекультивированных

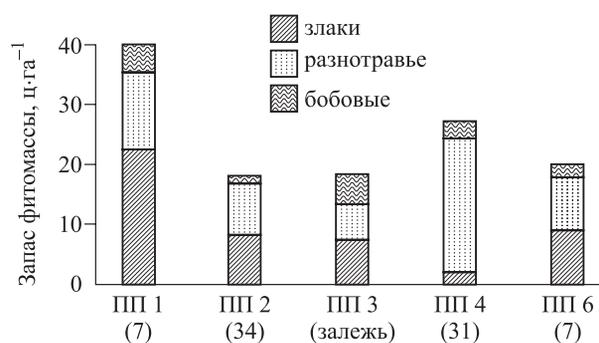


Рис. 3. Структура фитомассы напочвенного покрова по группам травянистых растений.

с нанесением ПСП, происходит довольно быстрая смена состава и структуры растительных сообществ, что согласуется с наблюдениями А. Н. Куприянова с соавторами (2010). В процессе перестройки фитоценотической структуры запас фитомассы надземной части растительного сообщества варьировал в пределах 20–28 ц·га⁻¹ (2008–2009 гг.), увеличиваясь до 40 ц·га⁻¹ на 7-летнем отвале (2013 г.) (см. рис. 1 и 2), что превышает аналогичные средние значения, характеризующие залежный участок (ПП 3), на 54 % (см. рис. 1). Основная часть фитомассы 7-летнего отвала формируется за счет злаков, на долю разнотравья и бобовых приходится 32 и 12 % соответственно (рис. 3).

В течение первых семи лет запасы фитомассы на отвалах достигают 126.1 ц·га⁻¹ (табл. 2, ПП 1). При этом преобладающая часть данного количества (68 %) сосредоточена в подзем-

Таблица 2. Запас и структура фитомассы растительных сообществ пробных площадей (2013 г.), ц·га⁻¹ абс. сух. вещества

Пробная площадь	Надземная часть			Подземная часть			Итого
	Древостой	Напочвенный покров	Всего	Скелетные корни (d > 10 мм)	Тонкие корни (d < 2 мм)	Всего	
<i>Отвалы с ПСП</i>							
ПП 1	–	40.0 ± 4.9*	40.0	–	86.1 ± 19	86.1	126.1
ПП 2	–	18.1 ± 2.7	18.1	–	37.6 ± 5.6	37.6	55.7
<i>Залежный луг</i>							
ПП 3	–	18.4 ± 2.4	18.4	–	46.7 ± 4.2	46.7	65.1
<i>Откосы отвалов</i>							
ПП 4	–	27.3 ± 5.9	27.3	–	19.5 ± 3.9	19.5	46.8
<i>Спланированные отвалы без ПСП</i>							
ПП 5	550.0	4.8 ± 1.7	554.8	70.0	7.7 ± 1	92.1**	646.9
ПП 6	73.3	45.4 ± 10.3	118.7	13.4	12.1***	30.3**	149.0

Примечания. * – ошибка среднего значения; ** – в запас подземной фитомассы включены корни диаметром 2–10 мм, в других изучаемых сообществах данная фракция корней отсутствует; *** – ошибку среднего не определяли.

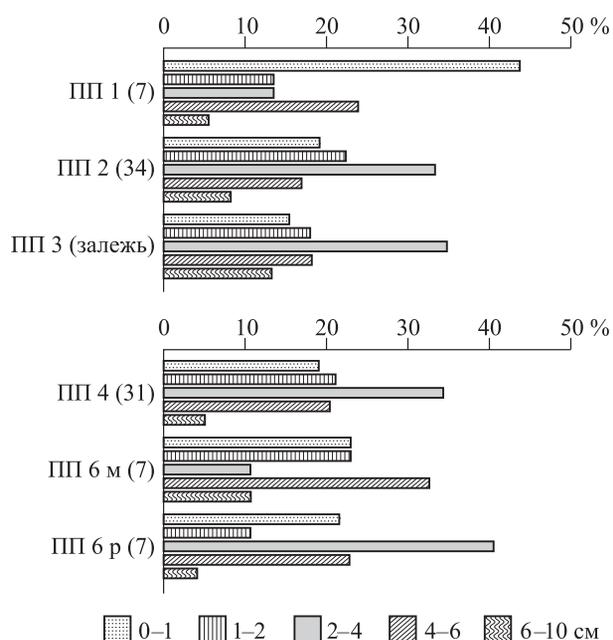


Рис. 4. Профильное распределение фитомассы тонких корней в слое 0–10 см ТПО и агрочернозема залежи (ПП 3). Оценки получены дифференцированно для рядов культур сосны (ПП 6 р) и напочвенного покрова междурядий (ПП 6 м).

ной сфере. В структуре корневой фитомассы на долю тонких корней первого порядка приходится 31 %. Близкие оценки приводит Е. Р. Кандрашин (1979), изучая восстановление растительного покрова на 6–8-летних отвалах лесостепной зоны Кузбасса.

Анализ профильного распределения подземной фитомассы изучаемых отвалов показал, что большая часть подземных органов растений 7-летнего сообщества (ПП 1, рис. 4) сосредоточена в пределах верхнего слоя 0–10 см, в том числе 44 % запаса – в верхнем слое 0–2 см, с глубиной масса корней постепенно снижается, второй «максимум» приходится на слой 4–6 см – 24 % (см. ПП 1, рис. 4). В слое 6–10 см содержание корней падает до 5 ц · га⁻¹, что составляет 5 % от общего запаса подземной фитомассы 0–10-сантиметровой толщи. Полученные оценки согласуются со спецификой биоморфологической структуры сообществ, в которой преобладают растения корневищной (вейник наземный *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., мятлик луговой) – до 40 % от всего флористического состава, стержнекорневой (бодяк щетинистый, клевер луговой *Trifolium pratense* L.) – 18 % и рыхлокустовой (вейник тростниковый *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.) – 3 % жизненных форм.

Описанный характер распределения подземной фитомассы (два максимума в профиле)

наблюдается в сообществах, где на поверхности ТПО отмечено присутствие сплошного слоя мертвых растительных остатков (см. также ПП 6, рис. 4). Поверхность реплантозема 7-летнего отвала (ПП 1) покрывает довольно мощный (6–10 см) рыхлый слой подстилки – ее запас в 2013 г. составил (23.6 ± 2) ц · га⁻¹ (коэффициент вариации $V = 25$ %).

С возрастом отвалов видовой состав группировок усложняется, травостой становится полидоминантным, многоярусным (число надземных ярусов не менее двух). Основу сообществ старых (34-летних) рекультивированных отвалов (ПП 2) по показателям обилия и встречаемости составляют сообщества с участием мятлика лугового, горошка приятного *Vicia amoena* Fisch., хвоща полевого *Equisetum arvense* L., василька шероховатого *Centaurea scabiosa* L., жабрицы порезниковой *Seseli libanotis* (L.) W. D. J. Koch и др.

В отличие от предшествующего возрастного этапа в ценотической структуре растительных сообществ старых отвалов возрастает участие видов разнотравья (тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L., василистник простой *Thalictrum simplex* L., молочай лозный *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit. и др.), их вклад в формирование запаса надземной фитомассы 48 %, при этом относительная доля злаков сокращается до 46 % (см. рис. 3). Изменения соотношения обусловлены тем, что в ходе сукцессии снижают свое участие в фитоценозах или выпадают вовсе из состава крупные злаки, такие как пырей ползучий, кострец безостый *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, вейник наземный. Их место отчасти занимают виды разнотравья.

Изменения состава группировок растительного покрова 28–34-летних отвалов наряду с флуктуацией климатических показателей и эпизодическими нарушениями пирогенного характера в начале вегетации обуславливают, вероятно, резкие колебания запаса фитомассы: 8.8 – в 2007, 15 – в 2008, 7.8 – в 2009 и 18 ц · га⁻¹ – в 2013 г. (см. рис. 1). Неустойчивость пула надземной фитомассы отмечалась также в исследованиях, проводимых на 25–26-летних нереккультивированных отвалах Назаровского угольного разреза западной части Канско-Ачинского угольного бассейна (Ачинско-Боготольская лесостепь) (Сукцессии..., 1993) и спланированных отвалах Байдаевского разреза Кузбасса (Кандрашин, 1979). Авторы при этом указывают на увеличение общего запаса фитомассы с возрастом. В наших исследованиях

продуктивность растительных сообществ на отвалах, рекультивированных с нанесением ПСП, напротив, с возрастом снижается. Суммарный запас фитомассы на 34-летнем отвале составил $55.7 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$, что на 56 % ниже, чем на 7-летнем отвале в том же году (см. табл. 2).

По общей фитомассе растительное сообщество, формирующееся на старом отвале с ПСП, в целом достигает показателей, полученных для залежного луга (ПП 3). При этом по запасу надземной фитомассы 34-летний отвал (ПП 2) и залежный участок (ПП 3) близки ($H = 0.07$, $p = 0.824$). Кроме сходства средних значений показателей фитомассы прослеживается идентичность в показателях вариативности данных (см. рис. 2), что свидетельствует об однородности выборок сравниваемых участков и статистической надежности результата. В подземной сфере залежного луга сосредоточено 72 % от общей фитомассы сообщества, на отвале – 68 %. Относительная доля тонких корней первого порядка в структуре подземной фитомассы слоя 0–10 см в реплантоземах старого отвала (ПП 2) повышается до 53 % против 31 % на молодом отвале (ПП 1). Для залежного участка данная величина равна 50 %.

Увеличение доли растений корневищных и стержнекорневых биоморф указывает на рост мощности зоны распространения корней. По характеру профильного распределения корневой фитомассы контрольный участок (ПП 3) и 34-летний отвал (ПП 2) схожи (см. рис. 4).

Характерным примером специфичной растительности, формирующейся на откосах рекультивированных отвалов без ПСП, служат сообщества травянистых растений ПП 4 (см. табл. 1). Растения медленно осваивают склоновые поверхности породных отвалов. Анализируемые растительные сообщества формируются на эродированном склоне в течение 32 лет. По сравнению с растительным покровом выровненных участков общее число видов в таких сообществах невелико – 28. Примерно половина видового состава – сорные виды (осот полевой *Sonchus arvensis* L., пастернак лесной *Pastinaca sylvestris* Mill., бодяк щетинистый и др.). Растительный покров не имеет сплошного распространения на поверхности откоса и характеризуется сравнительно невысокой сомкнутостью (проективное покрытие 54 %). За период наблюдения 2007–2009 гг. запас надземной фитомассы травянистого сообщества варьировал от 11.5 до $16.1 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$, что в среднем составило $14.1 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$ (см. рис. 1). Рост запаса фитомассы (около 50 %)

отмечен в 2013 г. – $27.3 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$. При этом разброс значений фитомассы оказался самым высоким среди всех сравниваемых участков (см. рис. 2), что, вероятно, связано с неоднородностью эдафотопических условий на склоновой поверхности отвала. Преобладающую часть (82 %) надземной фитомассы формирует луговое разнотравье: хвощ полевой, василек шероховатый, тысячелистник обыкновенный, василистник простой, жабрица порезниковая, кипрей узколистный и др. На долю групп злаки и бобовые приходится 7 и 11 % соответственно (см. рис. 3).

По общей фитомассе растительные сообщества склоновых участков отвалов Назаровского разреза на 26 % продуктивнее (Сукцессии..., 1993). Подземная сфера откосов отвалов Бородинского разреза медленнее осваивается фитоценозом (ПП 4). Так, запас подземной фитомассы на склонах некультивированных отвалов Назаровского разреза составляет 37.4 против $19.5 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$ для откосов отвалов Бородинского разреза.

Результаты изучения профильного распределения запасов подземной фитомассы (см. рис. 4) показали, что она постепенно убывает с глубиной: 40 % от фитомассы живых корней сосредоточено в верхнем слое 0–2 см, 34 и 20 % – в слоях 2–4 и 4–6 см соответственно. В слое 6–10 см относительное участие корней снижается до 5 %.

Надземная часть фитомассы превышает подземную в 1.4 раза. Такое соотношение над- и подземной частей фитомассы, как правило, характеризует растительные сообщества с высоким участием рудеральных видов растений (Кандрашин, 1979). Основная часть фитомассы таких растений приходится на стебли, листья и генеративные органы и существенно меньшая – на корни (Пьянков, Иванов, 2000).

Примерно 37 % площади рекультивационных полей – спланированные отвалы без нанесения ПСП. Преобладающая часть таких земель покрыта лесными насаждениями естественного или искусственного происхождения. Структура естественных лесных сообществ спланированных отвалов представлена в основном высокосомкнутыми насаждениями II–III класса возраста. Примером таких насаждений служит 32-летний березово-осиновый мертвопокровный лес (ПП5, см. табл. 1). Древостой насаждения смешанный по составу, преобладают береза *Betula pendula* Roth и осина *Populus tremula* L., встречается сосна *Pinus sylvestris* L. подрост березы и осины разновозрастный, высотой до 4 м, сосны – 0.5–1.0 м. В составе редкого подлеска –

Таблица 3. Основные таксационные показатели лесных насаждений

Показатель	Березово-осиновый мертвопокровный лес, ПП 5	Культуры сосны (2007 г.), ПП 6
Состав древостоя	6Б4Ос + С	10С
Возраст, лет	32	–
Диаметр на высоте 1.3 м, см	15.0	3.8
Высота, м	10.0	2.7
Густота, шт. · га ⁻¹	1000	1700
Запас, м ³ · га ⁻¹	86.0	3.6

ивы *Salix bebbiana* Sarg., *S. caprea* L. и рябина *Sorbus sibirica* Hedl. Средние таксационные параметры древостоя представлены в табл. 3.

Высокая сомкнутость древостоя сдерживает развитие напочвенного покрова, он очень бедный по флористическому составу, проективное покрытие не достигает 10 %. В составе яруса присутствуют вейник тростниковидный, клевер ползучий *Amoria repens* (L.) C. Presl, грушанка круглолистная *Pyrola rotundifolia* L., горошек *Vicia* sp., ортилия однобокая *Orthilia secunda* (L.) House и др. Моховой покров характеризуется синузиями зеленых мхов *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) B. S. G. в виде некрупных и обширных латок, среди которых отмечаются включения накипных лишайников. Средняя за 3 года масса органического вещества напочвенного покрова не превышает 4.7 ц · га⁻¹.

Общий запас фитомассы насаждения к 32-летнему возрасту достигает 646.9 ц · га⁻¹ (ПП 5, см. табл. 2), основная его часть (86 %) сосредоточена в наземной сфере и почти полностью (на 99 %) представлена древесными растениями.

В структуре запаса фитомассы древесных растений преобладает стволовая древесина, на долю листвы и ветвей приходится 4 и 18 % соответственно. Относительный вклад скелетных корней 15 %. Масса тонких корней (с диаметром меньше 2 мм) слоя 0–10 см литострата составляет 8 % от общей подземной фитомассы насаждения.

Полученные данные согласуются с литературными – запас стволовой древесины в 20–30-летних чистых березняках (10Б) Канской и Ачинской лесостепи изменяется от 57 до 105 м³ · га⁻¹ (Шевелев, Субочев, 1983; Спицына, 1990, 1996). Насаждения развиваются по II–III классам бонитета.

Террасированные участки рекультивированных отвалов, как правило, засаживаются культурами. Наиболее пригодной для создания культурфитоценозов на малопродуктивных породных отвалах считается сосна (Баранник, 1984). Наши исследования проводились в культурах сосны 2007 г. (ПП 6, см. табл. 1). Растительный покров участка представляют два растительных комплекса: искусственный – культуры сосны обыкновенной и естественный – спонтанная травянистая растительность.

Культуры представлены рядовыми посадками с междурядьями в 4–5 м. Если судить по биометрическим параметрам, культуры сосны, созданные на спланированных отвалах, не уступают искусственным соснякам близкого возраста, произрастающим на старопашотных темносерых почвах Назаровской котловины (Шугалея, 1997), серых почвах Кемчугской возвышенности (Моделирование..., 1984) и в Балахтинском лесхозе (Ачинско-Боготольская лесостепь) (Огиевский, 1962).

В междурядьях распространены растительные группировки двух типов – разнотравно- и кипрейно-вейниковая. Кроме доминантов – кипрея узколистного и вейника наземного в группировках важную роль играют рудеральные – полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L., чертополох курчавый, мелколепестник едкий *Erigeron acris* L. и сорные виды растений – бодяк щетинистый, донник лекарственный *Melilotus officinalis* (L.) Pall., осот полевой.

Запас фитомассы культурфитоценоза достигает 88.5 ц · га⁻¹, 71 % запаса составляет наземная фитомасса, сосредоточенная в основном в древесных растениях, на долю напочвенного покрова приходится 38 %. Примерно треть фитомассы сосен приходится на стволовую древесину (в коре), столько же (29 %) – на хвою, относительная доля ветвей и скелетных корней составляет 25 и 15 % соответственно. Высокое относительное участие хвои в структуре фитомассы – характерная особенность искусственных молодняков сосны, формирующихся на естественных почвах (Моделирование..., 1984).

Запас фитомассы травянистых сообществ междурядий в основном формируют злаки и разнотравье при участии бобовых – 10 % (см. рис. 3). Разброс значений фитомассы и крайне широкий диапазон отклонений (см. рис. 2), свидетельствующие о высокой вариабельности продуктивности отдельных участков фитоценоза, вероятно, обусловлены неоднородностью эдафических условий в поверхностном слое молодой

почвы. Запасы подземной фитомассы в 0–10 см слое литостратов под травянистой растительностью в междурядьях достигают $10 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$, что в 4.4 раза ниже, чем в рядах сосны. Как и на ПП 1 (7-летнее растительное сообщество, представленное группировками сорняков разнотравья и злаков), профильное распределение фитомассы живых корней в междурядьях культур имеет два «пика»: первый – в слое, прилегающем к подстилке, второй – на глубине 4–6 см. На одном гектаре междурядий культур сосны сосредоточено (12.7 ± 3.0) ц фитодетрита, неравномерно распределенного по поверхности – коэффициент вариации запаса 65 % ($n = 10$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отвалы, рекультивированные с нанесением ПСП, начинают зарастать сразу после их отсыпки. На поверхности таких отвалов формируются травянистые сообщества, запас фитомассы которых с возрастом снижается от 126 на 7-летнем до $56 \text{ ц} \cdot \text{га}^{-1}$ на 34-летнем отвале. Большая часть (68 %) запаса фитомассы 7- и 34-летних отвалов приходится на живые корни диаметром менее 2 мм. Относительная доля фракции физиологически активных тонких корней первого порядка с возрастом увеличивается от 31 до 53 %.

Запас надземной фитомассы растительных сообществ даже старых отвалов подвержен значительным колебаниям по годам, что указывает на их «незрелость». Варьирование запасов фитомассы на отвалах с ПСП, вероятно, является откликом на погодные условия отдельно взятого года.

Запас фитомассы в культурах сосны, созданных на спланированных отвалах без ПСП, на 15 % больше, чем в травянистых сообществах близкого возраста, формирующихся на плодородном почвенном слое реплантоземов. Отличительной особенностью искусственно созданного сообщества является высокая доля тонких корней в структуре подземной фитомассы – 47 %. Поскольку отмирающие тонкие корни служат основным источником гумусообразования в почвенном профиле, можно предположить, что при прочих равных условиях создание культур способствует увеличению темпов накопления гумусовых веществ в литостратах.

Сравнительный анализ продуктивности фитоценозов на откосах и выровненных поверхностях отвалов (террасированных или выполненных уступами) показал, что растения медленно

осваивают склоновые поверхности. Сообщества, формирующиеся на откосах отвалов, как правило, характеризуются сравнительно невысокой продуктивностью, преобладанием надземной фитомассы.

По запасам фитомассы смешанные насаждения на спланированных отвалах без ПСП сопоставимы с аналогичными фитоценозами на естественных почвах.

В лесостепной зоне на юге Центральной Сибири растительные сообщества, естественно развивающиеся на рекультивированных отвалах с ПСП, достигают зонального уровня по запасу и структуре фитомассы не ранее чем через 30 лет. Создание лесных культурфитоценозов способствует ускорению накопления фитомассы как первичного органического вещества молодых фитоценозов, формирующихся на малоплодородных техногенных поверхностных образованиях (литостратах).

Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук А. С. Шишикину за предоставленные объекты исследования, помощь в организации и проведении полевых работ; д-рам биол. наук Э. Ф. Ведровой и Т. А. Москалюк за ценные советы при обсуждении материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 13–04–01128 и 14–05–31130.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской автономной области. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1961. 211 с.
- Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
- Базилевич Н. И., Гребеничиков О. С., Тишков А. А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 297 с.
- Баранник Л. П. Биоэкологические принципы рекультивации. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1988. 85 с.
- Дылис Н. В. Основы биогеоценологии. М.: Изд-во Московск. ун-та, 1978. 152 с.
- Ефимов Д. Ю., Шишикин А. С. Растительный покров рекультивированных отвалов угольных разрезов Канской лесостепи // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2014. Т. 16. № 5. С. 190–195.
- Кандрашин Е. Р. Сингенез и продуктивность естественной растительности и полукультур-

- фитоценозов на отвалах угольных разрезов Кузбасса // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1979. С. 163–172.
- Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. М. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
- Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2010. 160 с.
- Моделирование развития искусственных лесных биогеоценозов / Л. С. Шугалей, М. Г. Семечкина, Г. И. Яшихин, В. К. Дмитриенко. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1984. 154 с.
- Молчанов А. А., Смирнов В. В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 101 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Вып. 21. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 623 с.
- Огиевский В. В. Искусственное лесоразведение в Сибири. М.: Гослесбумиздат, 1962. 175 с.
- Орловский Н. В. Характеристика почв по маршруту координационной экскурсии // Лес и почва. Красноярск: Красноярск. кн. изд-во, 1968. С. 423–493.
- Полевая геоботаника / Ред. Е. М. Лавренко, А. А. Корчагин. Т. 5. М.; Л., 1976. 320 с.
- Программа и методика биогеоценологических исследований / Под ред. В. Н. Сукачева и Н. В. Дылиса. М.: Наука, 1966. 334 с.
- Пьянков В. И., Иванов Л. А. Структура биомассы у растений бореальной зоны с различными типами экологических стратегий // Экология. 2000. № 1. С. 3–10.
- Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.
- Сергеев Г. М. Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1971. 264 с.
- Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. М.: Высш. школа, 1962. 378 с.
- Спицына Н. Т. Оценка лесоводственного состояния березовых насаждений восточной части КАТЭКа // География и природн. ресурсы. 1990. № 1. С. 145–150.
- Спицына Н. Т. Биологическая продуктивность березовых насаждений Канской лесостепи: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск: КГТА, 1996. 25 с.
- Сукачев В. Н. Основные понятия лесной биогеоценологии // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 5–49.
- Сукцессии и биологический круговорот / А. А. Титлянова, Н. А. Афанасьева, Н. Б. Наумова. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1993. 157 с.
- Титлянова А. А., Миронычева-Токарева Н. П., Наумова Н. Б. Круговорот углерода в травяных экосистемах при зарастании отвалов // Почвоведение. 1988. № 7. С. 164–174.
- Трефилова О. В., Гродницкая И. Д., Ефимов Д. Ю. Динамика эколого-функциональных параметров реплантоземов на отвалах угольных разрезов Центральной Сибири // Почвоведение. 2014. № 1. С. 109–119.
- Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В. А. Алексеева и Р. А. Бердси. Красноярск, 1994. 224 с.
- Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с.
- Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 637 с.
- Усольцев В. А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 573 с.
- Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н., Нефедьев В. В., Гульбе Т. А., Гульбе Я. И., Гамбург С. П. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение. 1997. № 5. С. 51–66.
- Часовенная А. А. Основы агрофитоценологии. Л., 1975. 188 с.
- Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
- Шевелев С. Л., Субочев Г. К. Фитомасса крон деревьев в березовых древостоях зоны КАТЭЖ // Лесн. таксация и лесоустройство: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: СибТИ, 1983. С. 90–94.
- Шугалей Л. С. Первичное почвообразование на отвалах вскрышных пород под культурой сосны // Почвоведение. 1997. № 2. С. 247–253.
- Шугалей Л. С., Яшихин Г. И. Формирование искусственных лесных биогеоценозов на отвалах угольных разрезов КАТЭКа // Современное состояние биогеоценозов зоны КАТЭКа / Под ред. Л. Н. Болтневой, Н. И. Холиковой. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С. 175–186.

Wirth C., Schulze E.-D., Schulze W., Stünzner-Karbe von D., Ziegler W., Miljukowa I. M., Sogatchev A., Varlagin A. B., Panyorov M., Grigorev S., Kusnetzova W., Siry M., Harges G.,

Zimmermann R., Vygodskaya N. N. Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by competition and fire // *Oecologia*. 1999. N. 121. P. 66–80.

PHYTOMASS OF PLANT COMMUNITIES AT THE DUMPS OF OPENCAST COAL MINES IN THE SOUTH OF CENTRAL SIBERIA

O. V. Trefilova¹, D. Yu. Efimov¹, P. A. Oskorbin², R. T. Murzakmatov¹

¹ *Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch – Solitary Unit V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation*

² *Ministry of Natural Resources and Ecology of Krasnoyarsk Krai Lenin str. 125, Krasnoyarsk, 660009 Russian Federation*

E-mail: ovtrefilova_ilsoran@mail.ru, dnsfmv@gmail.com, ospa@kyrles.akadem.ru, takcator_m@mail.ru

The paper presents the evaluation of the stock and structure of plant communities formed in the dumps of the Borodino brown coal pit (the eastern part of the Kansk-Achinsk coal basin). A comparison of different age dumps reclaimed with top soil (TS), planned dumps and slopes. The observations cover the period from 2007 to 2009 and 2013. Almost immediately after its creation, on the surface dumps with TS a solid grassy vegetation formed, which was characterized by high productivity. Over the next two decades, a biomass reserve decreased more than 2 times. The major portion of the biomass of 7 and 31-year-old community is concentrated in the 0–10 cm layer. The plant communities amount to the original level of stocks and the structure of the biomass of both aboveground and underground are as no earlier than in 25–30 years. Forest plantations making to force the accumulation of biomass of young biogeocenosis formed on poor substrate (litostratah). The stock biomass of pine man-made stands on 30 % less than in the grass lands to growing on the dumps with TS. Slopes of reclaimed dumps were slowly overgrown and emerging communities were characterized by a low cover and productivity. The major portion of biomass was located above ground. Significant seasonal variations in quantities of above-ground phytomass of plant communities of old dumps, indicating their immaturity in spite of the thirty years of the formation of vegetation.

Keywords: *productivity, structure of phytomas stock, dumps, reclamation, revegetation, recultivation, Kansk-Achinsk coal basin.*

How to cite: *Trefilova O. V., Efimov D. Yu., Oskorbin P. A., Murzakmatov R. T.* Phytomass of plant communities at the dumps of opencast coal mines in the south of Central Siberia // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Siberian Journal of Forest Science). 2016. N. 6: 38–48 (in Russian with English abstract).