

УДК 581.5:582.632.1

doi: 10.17223/19988591/38/11

О.Л. Цандекова, Е.Ю. Колмогорова

Институт экологии человека ФНЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово, Россия

## Особенности адаптивных реакций *Betula pendula* Roth, произрастающей в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза

Проведен комплекс различных методов диагностики листьев *B. pendula* на территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Выявлены некоторые особенности адаптивных реакций березы повислой, в том числе изменения водного режима деревьев, в сторону повышения водоудерживающей способности (до 56,5%) и снижения суточных потерь (до 19,8%). В листьях *B. pendula* установлено увеличение содержания пролина, сахаров и фенольных соединений, но снижение содержания аскорбиновой кислоты. Наименьший размах варьирования у исследуемых растений выявлен по содержанию фенольных соединений и водоудерживающей способности. Совокупный анализ характеристик водного режима и биохимических показателей у березы свидетельствует о взаимной обусловленности этих параметров. Выявленные перестройки в механизмах водного гомеостаза и функционировании антиоксидантной системы *B. pendula* позволяют рассматривать их как приспособительные и защитные реакции, направленные на ее выживание в условиях породного отвала. Исследуемые показатели можно использовать в биоиндикации и для оценки состояния древесных растений на техногенно нарушенных территориях.

**Ключевые слова:** береза повислая; водный режим; биохимические показатели; эмбриоземы; Кемеровская область.

### Введение

Кемеровская область относится к регионам Российской Федерации, страдающим от высоких техногенных нагрузок на атмосферу, почву, поверхностные и подземные воды. Добыча полезных ископаемых сопровождается серьезными экологическими изменениями природных ландшафтов. Одной из главных задач улучшения экологической ситуации является создание экологически благоприятной среды. Главным «инструментом» восстановления нарушенных земель является растительность, с помощью которой происходит преобразование нарушенных экотопов в биологически продуктивные местообитания. Специфика отвалов состоит в том, что экологические условия на них существенно отличаются от естественных в сторону олиготрофности и ксероморфизма, поэтому число произрастающих на них видов рас-

тений ограничено. К доминирующим видам среди растительных сообществ на отвалах вскрышных пород угольной промышленности Кузбасса относится *B. pendula* благодаря ее малотребовательности к плодородию почвы и высокой семенной продуктивности [1]. Она является светолюбивой древесной породой, достаточно засухоустойчива.

Важнейшим механизмом адаптации древесных растений в экстремальных экологических условиях является совокупность многих перестроек в растительном организме. Физиолого-биохимические исследования позволяют всесторонне анализировать состояние древесных растений и являются важным критерием оценки их устойчивости к неблагоприятным условиям среды [2, 3]. В литературе достаточно много сведений о физиолого-биохимических особенностях берез в условиях техногенного воздействия. Обнаружены определенные закономерности в оценке морфологических [4] и морфометрических показателей, в том числе флуктуирующей асимметрии [5–7]; показаны изменения содержания фотосинтетических пигментов у березы повислой в условиях техногенного загрязнения [8]; выполнены исследования водного обмена березы повислой разных экологических зон [9–12]. Рядом авторов показано, что скорость потери воды изолированными листьями растений коррелирует со степенью загрязнения воздуха и может служить показателем качества среды [13, 14]. Однако до сих пор остается открытым вопрос о возможных механизмах регуляции водного обмена на уровне целого растения. Большинство публикаций посвящено изучению адаптивных реакций у березы повислой в условиях техногенного загрязнения городской среды, однако единичны работы по структурно-функциональным показателям на малоплодородных субстратах, в том числе на отвалах [15], поэтому выявление соответствия условий произрастания древесных растений их биологическим требованиям на рекультивируемых территориях весьма актуально.

Цель исследований – выявить особенности адаптивных реакций *B. pendula*, произрастающей в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский»: изучение показателей водного режима (содержание общей воды (оводненность), водоудерживающей способности, суточных потерь, водного дефицита; содержание аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, пролина и сахаров в листьях).

### Материалы и методики исследования

Объектом исследований служила береза повислая (*Betula pendula* Roth), произрастающая в различных экологических условиях на территории породного отвала угольного разреза «Кедровский». Кедровский разрез расположен в 25 км севернее г. Кемерово (56°32'52" с. ш., 86°05'54" в. д.). Отвал имеет равнинно-наклонный рельеф с высотой 58 м, его площадь составляет 599,3 га, возраст – 30–35 лет. Породы отвала представлены песчаником

(60%), алевролитами (20%), аргиллитами (15%), суглинками и глинами (5%). Преобладающей фракцией являются крупные агрегаты (от 3 до 10 и более мм), содержание мелких частиц снижено. Насаждение представлено посадками *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, единично встречались *Salix viminalis*, *Populus balsamifera*, *Acer negundo*, *Hippophae rhamnoides*. Возраст деревьев составлял 25–30 лет, II класса бонитета с полнотой 0,3–0,5. Живой напочвенный покров образован разнотравно-злаковым сообществом с общим проективным покрытием, равным 40–60%.

Эксперимент проведен в 2013–2016 гг. на двух площадках наблюдений (ПН): № 1 (опыт) – спланированный породный отвал со сформированным фитоценозом естественного происхождения; № 2 (контроль) – участок, расположенный в 5 км от породного отвала со сходным по составу фитоценозом. Агрохимический анализ эмбриоземов проведен в аккредитованном испытательном центре агрохимической службы ФГУ ЦАС «Кемеровский». По агрохимическим показателям эмбриоземы всех ПН характеризовались высокой обеспеченностью обменным калием (100–240 мг/кг) и низкой обеспеченностью подвижным фосфором (10–50 мг/кг). На эмбриоземах ПН № 1, в сравнении с ПН № 2, выявлена низкая обеспеченность нитратным азотом (3,6–6,0 мг/кг). Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов (*Pb*, *Cd*, *Cu*, *Zn*, *Mn*, *Ni*, *Co*, *Fe*, *Cr*) не показал превышения существующих ПДК.

Сбор материала проводили в вегетационный период (июнь–август). Для исследований образцы листьев собирали с десяти модельных деревьев удовлетворительного жизненного состояния (с десяти ветвей с нижней трети по периметру кроны) на каждом изучаемом участке. Отбирали листья березы с полностью развернувшейся листовой пластинкой, без видимых признаков повреждений в период с 9 до 10 ч с помощью секатора на шесте.

Исследования водного режима проведены по общепринятой методике [16]. Водный дефицит определяли весовым методом, первое взвешивание – сразу после срезки. Срезанные листья после взвешивания ставили во влажную камеру черешками в воду и переносили в лабораторию. Второе взвешивание – через 2 часа. Оводненность листьев высчитывали как отношение разности сырой и абсолютно сухой массы пробы листьев к сырой массе данной пробы листьев в процентах. Листья взвешивали на лабораторных весах Ohaus Scout Pro 200 (США) с точностью до 0,05 г. Образцы листьев до абсолютно сухого состояния доводили в сушильном шкафу при температуре 105°C в закрытых бюксах в течении 4 ч. Суточные потери рассчитывали как разность массы листьев в начале эксперимента и массы пробы через сутки в процентах, водоудерживающую способность – как разность между оводненностью и суточными потерями.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли титриметрическим методом с применением 2,6-дихлорфенолиндифенола натрия [17]. Определение фенольных соединений – по методу Левенталя–Нейбауера. Метод основан на легкой окисляемости фенолов калия перманганатом в присутствии инди-

госульфокислоты при комнатной температуре, титрование проводят медленно до появления золотисто-желтого окрашивания [18].

Содержание свободного пролина определяли по методу Bates с соавт. [19] в модификации Воскресенской с соавт. [20] с использованием кислого нингидринового реактива. Для этого навеску листьев (100 мг) мелко нарезали, заливали 10 мл 3%-ного раствора сульфосалициловой кислоты и растирали в течение 5 мин в ступках до получения однородной массы, растертую массу переносили на фильтр. 2 мл фильтрата помещали в пробирку и добавляли 2 мл реагента (1,25 г нингидрина + 30 мл ледяной уксусной кислоты + 20 мл 6 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Затем в пробирки добавляли 2 мл ледяной уксусной кислоты. После тщательного перемешивания содержимого пробирки ставили на час в кипящую водяную баню. После этого охлаждали в ледяной бане, добавляли 4 мл толуола, взбалтывали 20–30 с и отстаивали. Интенсивность окраски определяли спектрофотометрически при длине волны 520 нм («LEKI SS 1207», Финляндия). Концентрацию свободного пролина рассчитывали с помощью калибровочной кривой.

Определение сахаров проводили по методике Филипцовой и Смолича [21]. Взвешивали 5 г листьев, растирали их горячей дистиллированной водой (70°C) и оставляли на 10 мин для экстракции. Затем охлаждали, отфильтровывали через воронку Шотта и переносили в мерную колбу. Отбирали 1 мл осветленной отфильтрованной вытяжки, добавляли 15 мл глицерата меди, перемешивали и нагревали на водяной бане при 70°C в течение 6 мин. Определяли оптическую плотность раствора спектрофотометрически при длине волны 582 нм («LEKI SS 1207», Финляндия). Концентрацию сахаров рассчитывали с помощью калибровочной кривой, построенной по глюкозе. Повторность опытов трехкратная из смешанной пробы. Данные представлены в виде средних арифметических значений и их среднеквадратических (стандартных) ошибок, рассчитан коэффициент вариации ( $v$ , %). Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены с помощью стандартного пакета программ StatSoft STATISTICA 8.0 for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

### Результаты исследований и обсуждение

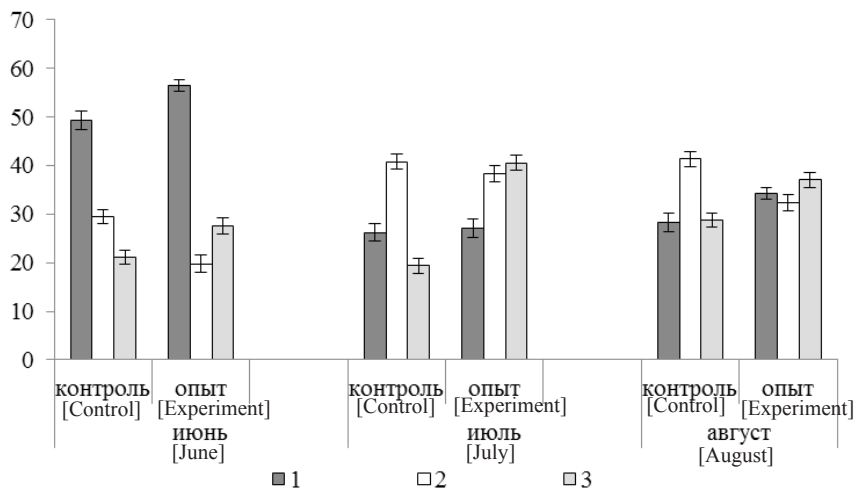
Количественное содержание влаги в ассимиляционном аппарате древесных растений, а также изменение этого показателя в течение вегетационного периода и в зависимости от условий произрастания, времени суток и других факторов позволяют объективно оценить состояние водного баланса растения в целом. Одной из важных характеристик стрессоустойчивости древесных растений являются их водоудерживающая способность и суточные потери. Изменение водоудерживающей способности связано с уровнем оводненности клеток и носит защитный характер против повреждающего действия неблагоприятных факторов внешней среды. Оводненность являет-

ся наиболее стабильным показателем водного режима. Независимо от того, повышается или понижается температура, снижается содержание воды в почве или атмосфере, растение всегда снижает свои функции в результате обезвоживания. Чем выше водоудерживающая способность растения, тем оно устойчивее к неблагоприятным условиям среды [22]. По данным наших исследований, на спланированном отвале (ПН № 1) отмечались статистически значимое ( $p < 0,05$ ) повышение водоудерживающей способности листьев и снижение суточных потерь по сравнению с контролем (рис. 1). Выявлено, что в июне в листьях березы повислой водоудерживающая способность максимально повышалась на 7,2%, в то же время отмечалось снижение суточных потерь воды – на 9,7% в сравнении с контролем. У растительных образцов, произрастающих на отвале, на уровне тенденции отмечены значения степени оводненности (ниже на 3,2–4,2%, чем в контрольной зоне). Стабильность данного показателя и повышение водоудерживающей способности на протяжении всего периода вегетации дают основание говорить о достаточно высокой адаптационной способности водообмена березы повислой в условиях отвала.

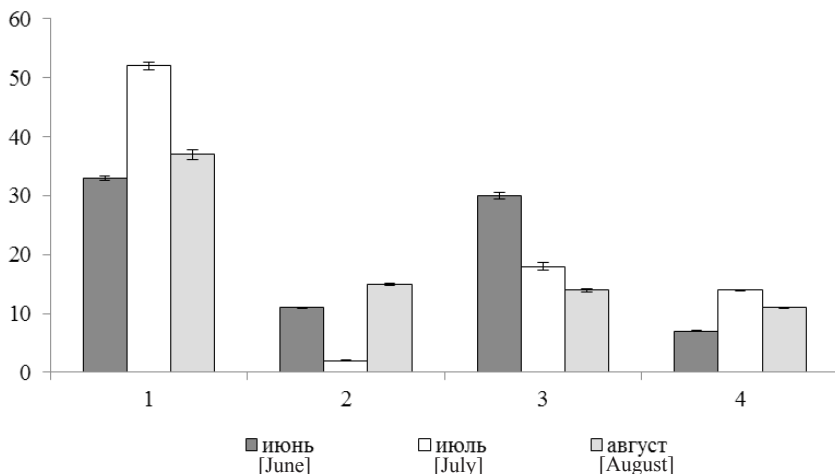
Снижение содержания воды на 20–30% приводит к развитию водного дефицита в тканях растений, который служит показателем напряженности водного режима растений или недостаточного для полного насыщения клеток количества воды [23]. Нашим экспериментом установлено, что водный дефицит в листьях березы достаточно высокий (19,3–40,5%), особенно в июле. У образцов на ПН № 2 исследуемый показатель в 1,3–2 раза меньше, чем на ПН № 1. Это свидетельствует о том, что береза повислая в процессе транспирации листьев интенсивнее расходует влагу на первом участке, чем на втором.

Биохимические механизмы защиты предотвращают обезвоживание клетки, обеспечивают детоксикацию продуктов распада, способствуют восстановлению нарушенных структур цитоплазмы. Высокую водоудерживающую способность цитоплазмы в условиях недостатка влаги поддерживает накопление низкомолекулярных гидрофильных белков, связывающих в виде гидратных оболочек значительные количества воды. Этому помогают также взаимодействие белков с пролином, концентрация которого значительно возрастает в условиях водного стресса, а также увеличение в цитоплазме содержания сахаров [24–26]. Сахара и пролин как осмотически активные соединения активно участвуют в механизмах поддержания водного гомеостаза деревьев. Свободный пролин является стрессовым метаболитом, его содержание сильно возрастает при недостатке воды, что связывают с распадом белков. Накопление углеводов и аминокислоты пролина благоприятствует удержанию воды в клетке и обеспечивает высокую водоудерживающую способность цитоплазмы. Нашими исследованиями выявлено, что содержание сахаров в листьях деревьев варьировало в пределах от 1,73 до 2,32%, пролина – 2,35–5,35 мг%. Максимальные значения сахаров отмечены в августе

(2,32%), минимальные – в июле (1,73%). На спланированном отвале (ПН № 1) в листьях *B. pendula* содержание углеводов превысило контроль в среднем на 9%, аминокислоты – на 41% (рис. 2).



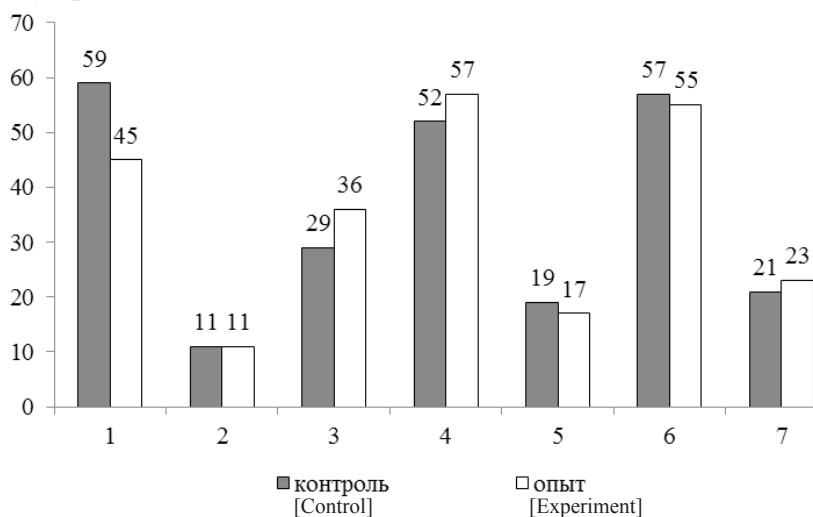
**Рис. 1.** Водный режим *Betula pendula*, произрастающей в условиях породного отвала (%), по параметрам: 1 – водный дефицит; 2 – водоудерживающая способность; 3 – суточные потери  
**[Fig. 1.** Water regime of *Betula pendula*, growing in the waste dump, (%) according to the following parameters: 1 - Water scarcity; 2 - Water-holding capacity; 3 - Daily loss]



**Рис. 2.** Динамика исследуемых биохимических показателей в листьях *Betula pendula*, (% от контроля) по параметрам: 1 – содержание пролина; 2 – содержание сахаров; 3 – содержание аскорбиновой кислоты; 4 – содержание фенольных соединений  
**[Fig. 2.** The dynamics of the studied biochemical parameters in the leaves of *Betula pendula* (% of control), according to the following parameters: 1 - Proline content; 2 - Sugar content; 3 - Ascorbic acid; 4 - Content of phenolic compounds]

В экстремальных экологических условиях синтез аскорбиновой кислоты и фенольных соединений служит в качестве неспецифического ответа антиоксидантной системы древесных растений. Многие исследователи отмечают увеличение фенольных соединений при неблагоприятных условиях, но снижение содержания аскорбиновой кислоты [27–29]. Наши исследования подтвердили данную закономерность. Так, в листьях *B. pendula* содержание фенольных соединений повышалось во все сроки наблюдений, в сравнении с контролем. Наибольшие отличия данного показателя отмечены в июле и превысили контроль на 14%. Анализ динамики содержания аскорбиновой кислоты в течение вегетации показал, что на всех площадках наблюдений отмечалось максимальное содержание данного показателя в июле (79,98–97,76 мг/100 г), минимальное – в августе (19,16–22,18 мг/100 г). В июне у исследуемых образцов отмечено максимальное снижение (на 30%) аскорбиновой кислоты относительно контроля.

На основе полученных экспериментальных данных рассчитан коэффициент вариации (рис. 3). Наименьшие значения по данному признаку выявлены у двух показателей – содержания фенольных соединений (17–19%) и водоудерживающей способности (11%).



**Рис. 3.** Коэффициент вариации у *Betula pendula*, произрастающей в условиях породного отвала (%), по параметрам: 1 – водный дефицит; 2 – водоудерживающая способность; 3 – суточные потери; 4 – содержание аскорбиновой кислоты; 5 – содержание фенольных соединений; 6 – содержание пролина; 7 – содержание сахаров

[Fig. 3. The coefficient of variation in *Betula pendula*, growing in the waste dump, (%) according to the following parameters: 1 - Water scarcity; 2 - Water-holding capacity; 3 - Daily loss; 4 - Ascorbic acid; 5 - Content of phenolic compounds; 6 - Content of free proline; 7 - Sugar content]

Размах варьирования других показателей и их коэффициент вариации оказались значительно выше, особенно по содержанию аскорбиновой кис-



лоты (52–57%) и свободного пролина (55–57%). В связи с этим можно предположить, что условия экологической среды оказывают наиболее заметное воздействие, которое необходимо для приспособления *B. pendula* к специфике конкретного местообитания.

### Выводы

Совокупный анализ характеристик водного режима и биохимических показателей у *B. pendula* свидетельствует о взаимной обусловленности этих параметров, что в целом обеспечивает ее успешное произрастание в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза.

Установлены некоторые особенности адаптивных реакций березы повислой, в том числе изменения водного режима листьев, в сторону повышения водоудерживающей способности (до 56,5%) и снижения суточных потерь (до 19,8%). У растительных образцов, произрастающих на отвале, степень оводненности ниже, чем в контроле, на 3,2–4,2%.

На спланированном отвале в листьях *B. pendula* отмечено увеличение содержания пролина в среднем на 41%, сахаров – на 9% и фенольных соединений – на 14%, а также снижение содержания аскорбиновой кислоты на 30%.

Наименьший размах варьирования у исследуемых растений выявлен по содержанию фенольных соединений и водоудерживающей способности, наибольший – по содержанию аскорбиновой кислоты и пролина.

Выявленные перестройки в механизмах водного гомеостаза и функционировании антиоксидантной системы *B. pendula* позволяют рассматривать их как приспособительные и защитные реакции, направленные на ее выживание на породном отвале. Исследуемые показатели можно использовать в биоиндикации и для оценки состояния древесных растений на техногенно нарушенных территориях.

### Литература

1. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Лазарев К.С. Натурализация древесных растений на отвалах горных пород Кузбасса // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2011. № 9. С. 130–133.
2. Павлов И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2006. 359 с.
3. Маракаев О.А., Смирнова Н.С., Загоскина Н.В. Техногенный стресс и его влияние на листовые древесные растения (на примере парков г. Ярославля) // Экология. 2006. № 6. С. 410–415.
4. Мигалина С.В., Иванова Л.А., Махнев А.К. Изменение морфологии листа *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh. вдоль зонально-климатической трансекты Урала и Западной Сибири // Экология. 2010. № 4. С. 257–265.
5. Kozlov M.V., Wilsey B.J., Koricheva J., Haukioja E. Fluctuation asymmetry of birch leaves increases under pollution impact // Journal of Applied Ecology. 1996. Vol. 33, № 6. PP. 1489–1495. doi: 10.2307/240478



6. Иванов В.П., Иванов Ю.В., Марченко С.И., Кузнецов Вл.В. Использование индексов флуктуирующей асимметрии листа березы повислой для диагностики состояния фитоценозов в условиях техногенного загрязнения // Физиология растений. 2015. Т. 62, № 3. С. 368–377.
7. Hagen S.B., Ims R.A., Yoccoz N.G., Sorlibraten O. Fluctuating asymmetry as an indicator of elevation stress and distribution limits in mountain birch (*Betula pubescens*) // Plant Ecology. 2008. Vol. 195, № 2. PP. 157–163. doi:10.1007/s11258-007-9312-y
8. Цандекова О.Л., Неверова О.А. Влияние выбросов автотранспорта на пигментный комплекс листьев древесных растений // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, № 1–3. С. 853–856.
9. Scoffoni C., Vuong C., Diep S., Cochard H., Sack L. Leaf shrinkage with dehydration: coordination with hydraulic vulnerability and drought tolerance // Plant Physiology. 2014. Vol. 164. PP. 1772–1788.
10. Сазонова Т.А., Позднякова С.В., Придача В.Б. Особенности водного режима *Betula pendula* (Betulaceae) с нормальной и аномальной древесиной ствола в онтогенезе // Ботанический журнал. 2012. № 11. С. 1435–1447.
11. Гиниятуллин Р.Х., Кулагин А.Ю. Водный дефицит древесных растений в различных экологических условиях // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия, биология, экология. 2015. Т. 15, № 3. С. 57–64.
12. Амосова И.Б., Феклистов П.А. Распределение влаги по сечению ствола в древесине березы повислой // Лесной вестник. 2010. № 3 (72). С. 97–100.
13. Беляева Ю.В. Результаты исследования водоудерживающей способности листовых пластинок *Betula pendula* Roth., произрастающей в условиях антропогенного воздействия (на примере г. Тольятти) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 5 (5). С. 1654–1659.
14. Сунцова Л.Н., Иншаков Е.М., Козик Е.В. Оценка состояния городской среды методом фитоиндикации (на примере г. Красноярск) // Лесной журнал. 2011. № 4. С. 29–32.
15. Чукина Н.В., Филимонова Е.И., Файрузова А.И., Борисова Г.Г. Морфофизиологические особенности листьев *Betula pendula* Roth на золототвалах Среднего Урала // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Биологические науки. 2016. № 6 (159). С. 68–75.
16. Малый практикум по физиологии растений / под ред. А.Т. Мокроносова. М. : МГУ, 1994. 184 с.
17. Неверова О.А. Практикум по биохимии. Кемерово : КемТИПП, 2005. 69 с.
18. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. С. 50–51.
19. Bates L.E., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant Soil. 1973. Vol. 39. PP. 205–207.
20. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии : учеб. пособие. Йошкар-Ола : Изд-во Марийск. гос. ун-та, 2006. С. 66–67.
21. Филипцова Г.Г., Смолич И.И. Биохимия растений : метод. рекомендации. Минск : БГУ, 2004. С. 6–7.
22. Чудинова Л.А., Орлова Н.В. Физиология устойчивости растений. Пермь : Перм. гос. ун-т, 2006. 124 с.
23. Яковец О.Г. Фитофизиология стресса. Минск : БГУ, 2009. 101 с.
24. Baena G.E., Rolland F., Thevelein J.M., Sheen J. A central integrator of transcription network in plant stress and energy signaling // Nature. 2007. Vol. 448. PP. 938–942.

25. Milyutina I.L., Sudachkova N.E., Romanova L.I. Response of the antioxidant system of light-demanding and shade-bearing pine species to phytocenotic stress // Contemporary Problems of Ecology. 2013. Vol. 6, № 2. PP. 149–155. doi: 10.1134/S199542551302011X
26. Verbruggen N., Hermans C. Proline accumulation in plants : a review // Amino Acids. 2008. № 35. PP. 753–759. doi: 10.1007/s00726-008-0061-6
27. Колмогорова Е.Ю., Неверова О.А. Влияние некоторых компонентов антиоксидантной системы на устойчивость древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала угольного разреза // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 9 (131). С. 61–65.
28. Гарифзянов А.Р., Иванищев В.В., Музафаров Е.Н. Оценка устойчивости *Betula pendula* Roth при произрастании на техногенно загрязненных территориях // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2011. № 2. С. 315–324.
29. Баландайкин М.Э. Коррелирование содержания аскорбиновой кислоты в ассимиляционном аппарате *Betula pendula* Roth. с действием патологического агента // Химия растительного сырья. 2014. № 1. С. 153–157.

Поступила в редакцию 26.01.2017 г.; повторно 17.04.2017 г.;  
принята 26.04.2017 г.; опубликована 15.06.2017 г.

**Авторский коллектив:**

**Цандекова Оксана Леонидовна** – канд. с-х. наук, н.с. лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека ФНЦ УУХ СО РАН (Россия, 650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10).  
E-mail: [zandekova@bk.ru](mailto:zandekova@bk.ru)

**Колмогорова Елена Юрьевна** – канд. биол. наук, н.с. лаборатории экологического биомониторинга Института экологии человека ФНЦ УУХ СО РАН (Россия, 650065, г. Кемерово, пр. Ленинградский, 10).  
E-mail: [kolmogorova\\_elena@bk.ru](mailto:kolmogorova_elena@bk.ru)

Tsandekova O.L., Kolmogorova E.Yu. Peculiarities of adaptive responses in *Betula pendula* Roth, growing in the waste dump of the Kedrovsky coal mine. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;38:183-195. doi: 10.17223/19988591/38/11 In Russian, English summary

**Oksana L. Tsandekova, Elena Yu. Kolmogorova**

*Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, "Institute of Human Ecology", Kemerovo, Russian Federation*

**Peculiarities of adaptive responses in *Betula pendula* Roth,  
growing in the waste dump of the Kedrovsky coal mine**

The majority of publications are devoted to the study of adaptive reactions in *Betula pendula* under technogenic pollution of the urban environment, but there are few works on structural and functional parameters on poor substrates, including dumps. The aim of the research was to reveal the peculiarities of *B. pendula* adaptive reactions in the waste dump of the Kedrovsky coal mine.

The object of research was *Betula pendula*, which grows in various ecological conditions on the territory of the waste dump of the Kedrovsky coal mine, which is located 25 km to the north of Kemerovo (56°32'52"N, 86°05'54"E). The age of the trees was 25-30 years; bonitet class II with density 0.3-0.5. We conducted the experiment in 2013-2016 at two observation sites (OS): 1 - control - a site situated 5 km from the waste dump with a phytocenosis similar in composition; 2 - experiment - a planned waste dump with a formed phytocenosis of natural origin. According to agrochemical

properties, embryozems of all OS were characterized by a high content of exchange potassium (100...240 mg/kg) and low content of mobile phosphorus (10...50 mg/kg). In embryozems of OS 1, in comparison with OS 2, we revealed a low content of nitrate nitrogen (3.6...6.0 mg/kg). The analysis of the content of mobile forms of heavy metals (*Pb*, *Cd*, *Cu*, *Zn*, *Mn*, *Ni*, *Co*, *Fe*, *Cr*) did not show an excess of the existing MPC. We collected the material during the growing season (June-August). For the study, we sampled leaves from ten model trees of a satisfactory vital state (from 10 branches of the lower third along the crown perimeter) in each study area. We selected birch leaves with a completely unfolded leaf plate without visible signs of damage from 9 to 10 h by means of a pole pruner. We studied water relationship indicators according to a generally accepted methodology. The daily loss was calculated as the difference in the weight of the leaves at the beginning of the experiment and in the weight of the sample in a day in percent, the water retention capacity as the difference between the water cut and the daily losses. We determined the ascorbic acid content by the titrimetric method using 2,6-dichlorophenolindophenol sodium; phenolic compounds-by the Leventhal-Neubauer method; the content of free proline - by the method of Bates with co-authors in Voskresenskaya's modification using an acidic ninhydrin reagent; sugars - by the methods of Filiptsova and Smolich.

A cumulative analysis of the characteristics of the water regime and biochemical indicators in the birch demonstrates mutual conditioning of these parameters. In the course of the experiment, we revealed some peculiarities of *B. pendula* adaptive reactions, including changes in water relationships of trees, in the direction of increasing water retention capacity (up to 56.5%) and a decrease in daily losses (up to 19.8%) (See Fig. 1). On the planned dump in the test samples, the sugar content exceeded the control by an average of 9%, and the proline amino acid-by 41% (See Fig. 2). In the leaves of *B. pendula*, the content of phenolic compounds increased throughout the whole period of observations. The greatest differences in this indicator were registered in July and exceeded control values by 14%. In June, the studied plants showed a maximum decrease (by 30%) in ascorbic acid, compared to control. The smallest range of variation in the investigated plants was detected by the content of phenolic compounds (17-19%) and water retention capacity (11%) (See Fig. 3). The revealed changes in the mechanisms of water homeostasis and the functioning of the antioxidant system of *B. pendula* allow us to consider them as adaptive and protective reactions aimed at its survival in the waste dump. The investigated indicators can be used in bioindication and for assessing the condition of woody plants in technogenically disturbed territories.

*The article contains 3 Figures, 29 References.*

**Key words:** birch; water regime; biochemical indicators; embryozems; Kemerovo region.

## References

1. Kupriyanov AN, Manakov YuA, Lazarev KS. Wood plant naturalization on the rock dumps in Kuzbass. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – The Bulletin of KrasGAU*. 2011;9:130-133. In Russian
2. Pavlov IN. Drevesnye rasteniya v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya [Woody plants under technogenic pollution]. Ulan-Ude: BSC Center of the SB RAS Publ.; 2006. 359 p. In Russian
3. Marakaev OA, Smirnova NS, Zagoskina NV. Technogenic stress and its effect on deciduous trees (an example from parks in Yaroslavl). *Russ J Ecol*. 2006;37(6):373-377. doi: [10.1134/S1067413606060026](https://doi.org/10.1134/S1067413606060026)

4. Migalina SV, Ivanova LA, Makhnev AK. Changes of leaf morphology in *Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh. along a zonal-climatic transect in the Urals and Western Siberia. *Russ J Ecol.* 2010;41(4):293-301. doi: [10.1134/s106741361004003x](https://doi.org/10.1134/s106741361004003x)
5. Kozlov MV, Wilsey BJ, Koricheva J, Haukioja E. Fluctuation asymmetry of birch leaves increases under pollution impact. *Journal of Applied Ecology.* 1996;33(6):1489-1495. doi: [10.2307/240478](https://doi.org/10.2307/240478)
6. Ivanov VP, Ivanov YuV, Marchenko SI, Kuznetsov VIV. Application of fluctuating asymmetry indexes of silver birch leaves for diagnostics of plant communities under technogenic pollution. *Russ J Plant Physiol.* 2015;62(3):340-348. doi: [10.1134/S1021443715030085](https://doi.org/10.1134/S1021443715030085)
7. Hagen SB, Ims RA, Yoccoz NG, Sorlibraten O. Fluctuating asymmetry as an indicator of elevation stress and distribution limits in mountain birch (*Betula pubescens*). *Plant Ecology.* 2008;195(2):157-163. doi: [10.1007/s11258-007-9312-y](https://doi.org/10.1007/s11258-007-9312-y)
8. Tsandekova OL, Neverova OA. Influence of motor transport emissions on the wood plants leaves pigmentary complex. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2010;12(1-3):853-856. In Russian
9. Scoffoni C, Vuong C, Diep S, Cochard H, Sack L. Leaf shrinkage with dehydration: coordination with hydraulic vulnerability and drought tolerance. *Plant Physiol.* 2014;164(4):1772-1788. doi: [10.1104/pp.113.221424](https://doi.org/10.1104/pp.113.221424)
10. Sazonova TA, Pozdnyakova SV, Pridacha VB. Water regime features of *Betula pendula* (Betulaceae) with normal and abnormal trunk wood structure in the ontogeny. *Botanicheskiy zhurnal – Botanical Journal.* 2012;11:1435-1447. In Russian
11. Kulagin AYu, Giniyatullin RKH. Water deficit of wood plants in different environmental conditions. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya khimiya, biologiya, ekologiya – Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology.* 2015;15(3):57-64. In Russian
12. Amosova IB, Feklistov PA. Distribution of a moisture on section of a trunk in *Betula pendula*. *Lesnoy vestnik – Forestry Bulletin.* 2010;3(72):97-100. In Russian
13. Belyaeva YuV. Results water-holding capacity of the leaf blades *Betula pendula* Roth, growing under anthropogenic impact (illustrated g.o. Tolyatti). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN – Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2014;16(5-5):1654-1659. In Russian
14. Suntsova LN, Inshakov EM, Kozik EV. Assessment of urban environment state by phytoindication method (based on example of Krasnoyarsk). *Lesnoy zhurnal – Forestry Journal.* 2011;4:29-32. In Russian
15. Chukina NV, Filimonova EI, Fayruzova AI, Borisova GG. Morphological and physiological features of *Betula pendula* Roth growing on ash dumps of the middle Urals. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Biological Sciences.* 2016;6(159):68-75. In Russian
16. Malyy praktikum po fiziologii rasteniy [Small workshop on plant physiology]. Mokronosov AT, editor. Moscow: Moscow State University Publ.; 1994. 184 p. In Russian
17. Neverova OA. Praktikum po biokhimii [Workshop on biochemistry]. Kemerovo: Kemerovo Institute of Food Industry Publ.; 2005. 69 p. In Russian
18. Korenskaya IM, Ivanovskaya NP, Izmalkova IE. Lekarstvennye rasteniya i lekarstvennoe rastitel'noe syr'e, soderzhashchie antratsenproizvodnye, prostye fenoly, lignany, dubil'nye veshchestva [Medicinal plants and medicinal plant raw materials containing anthracene derivatives, simple phenols, lignans, and tannins]. Voronezh: Voronezh State University Publ.; 2007. pp. 50-51. In Russian
19. Bates LE, Waldren RP, Teare ID. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 1973;39:205-207. doi: [10.1007/BF00018060](https://doi.org/10.1007/BF00018060)
20. Voskresenskaya OL, Alyabysheva EA, Polovnikova MG. Bol'shoy praktikum po bioekologii: uchebnoe posobie [A large workshop on bioecology: A tutorial]. Yoshkar-Ola: Mari State University Publ.; 2006. pp. 66-67. In Russian

21. Filiptsova GG, Smolich II. Biokhimiya rasteniy: metodicheskie rekomendatsii [Biochemistry of plants: methodical recommendations]. Minsk: Belarusian State University Publ.; 2004. pp. 6-7. In Russian
22. Chudinova LA, Orlova NV. Fiziologiya ustoychivosti rasteniy [Physiology of plant resistance]. Perm: Perm State University Publ.; 2006. 124 p. In Russian
23. Yakovets OG. Fitofiziologiya stressa [Phytophysiology of stress]. Minsk: Belarusian State University Publ.; 2009. 101 p. In Russian
24. Baena GE, Rolland F, Thevelein JM, Sheen JA. Central integrator of transcription network in plant stress and energy signaling. *Nature*. 2007;448:938-942.
25. Milyutina IL, Sudachkova NE, Romanova LI. Response of the antioxidant system of light-demanding and shade-bearing pine species to phytocenotic stress. *Contemp. Probl. Ecol*. 2013;6(2):149-155. doi: [10.1134/S199542551302011X](https://doi.org/10.1134/S199542551302011X)
26. Verbruggen N, Hermans C. Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids*. 2008;35:753-759. doi: [10.1007/s00726-008-0061-6](https://doi.org/10.1007/s00726-008-0061-6)
27. Kolmogorova EYu, Neverova OA. The effect of some components of the antioxidant system on the resistance of woody plants growing under the conditions of coal pit waste dump. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;9(131):61-65. In Russian
28. Garifzyanov AR, Ivanishchev VV, Muzafarov EN. Otsenka ustoychivosti *Betula pendula* Roth pri proizvodstvenno na tekhnogenno zagryaznennykh territoriyakh [Evaluation of the stability of *Betula pendula* Roth when growing on technologically contaminated territories]. *Izvestiya Tl'skogo gosudarstvennogo universiteta. Natural Sciences*. 2011;2:315-324. In Russian
29. Balandaykin ME. Correlation of the content of ascorbic acid in the assimilation apparatus *Betula pendula* Roth. with agent by pathological. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya – Chemistry of Plant Raw Material*. 2014;1:153-157. In Russian

Received 26 January 2017; Revised 17 April 2017;

Accepted 26 April 2017; Published 15 June 2017

**Author info:**

**Tsandekova Oksana L**, Cand. Sci. (Agric.), Researcher of the Laboratory of Ecological Biomonitoring, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, "Institute of Human Ecology" (Kemerovo), 10 Leningradskiy Ave., Kemerovo 650065, Russian Federation.

E-mail: [zandekova@bk.ru](mailto:zandekova@bk.ru)

**Kolmogorova Elena Yu**, Cand. Sci. (Biol.), Researcher of the Laboratory of Ecological Biomonitoring, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, "Institute of Human Ecology" (Kemerovo), 10 Leningradskiy Ave., Kemerovo 650065, Russian Federation.

E-mail: [kolmogorova\\_elena@bk.ru](mailto:kolmogorova_elena@bk.ru)