

УДК 634.948:581.5

ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУБСТРАТА И РАСТЕНИЙ В УСТЬ-СОКСКОМ КАРЬЕРЕ

© 2011 Н.В. Прохорова¹, А.А. Головлёв², Ю.В. Макарова¹, П.А. Артюгин¹

¹ Самарский государственный университет

² Самарский государственный экономический университет

Поступила в редакцию 17.05.2011

На общем фоне процесса самозарастания Усть-Сокского карьера выявлены особенности накопления тяжелых металлов в его субстрате и вегетативных органах березы повислой (*Betula pendula* Roth).

Ключевые слова: Усть-Сокский карьер, карбонатный субстрат, тяжелые металлы

Широкое распространение карбонатных отложений на территории Самарской области определило промышленную добычу сырья для нужд строительной отрасли. Следствием промышленной разработки сырья открытым способом являются карьеры (известняково-доломитовые, глинистые, песчаные, серные и др.). На территории городского округа Самара или вблизи нее расположены старые, заброшенные карьеры по добыче карбонатного сырья (карьер на Царёвом Кургане, карьер Красноглинского месторождения, Усть-Сокский карьер). Здесь же находится огромный, ныне функционирующий карьер по добыче карбонатного сырья, объединивший в своём составе прежние Центральный и Восточный карьеры Сокского месторождения. Карьеры, выведенные из промышленной эксплуатации, служат удобными полигонами для проведения эколого-географических (геологических, геоботанических, почвенных, зоологических и биогеохимических) исследований.

Усть-Сокский карьер, в котором на протяжении 50-70-х гг. XX в. добывалось карбонатное сырьё (известняки, доломиты), располагается в северной части г. Самары в пределах Красноглинского района. Карьер был заложен на северном склоне Сокольных гор, на левом берегу р. Сок, в нескольких километрах от места впадения этой реки в Саратовское водохранилище. Промышленная добыча карбонатных пород осуществлялась для производства строительных материалов (щебня, бутового камня, строительных смесей). Строительные материалы широко использовались в жилищном домостроении и промышленном строительстве, для ремонта и благоустройства городских и областных магистралей.

Прохорова Наталья Владимировна, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, ботаники и охраны природы. E-mail: ecology@ssu.samara.ru

Головлёв Алексей Алексеевич, доктор географических наук, профессор кафедры экономической и социальной географии

Макарова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, ассистент кафедры экологии, ботаники и охраны природы

Артюгин Павел Анатольевич, студент

В результате продолжительной разработки строительного сырья на северном склоне Сокольных гор возникла крупная техногенная выемка максимальной протяженностью с севера на юг (по дну карьера) менее 1 км, и с запада на восток – более 2 км. Относительная высота отвесных бортов техногенного котлована – десятки метров, в отдельных случаях она достигает 100-150 м [1-3]. Усть-Сокский карьер имеет корытообразную форму. Основными элементами техногенного рельефа являются широкое днище и скальные террасы, ограничивающие карьер со всех сторон. Дно карьера в целом ровное и плоское. С поверхности оно сложено очень плотными, водонепроницаемыми карбонатными породами, коегде перемежающимися с выходами монолитного скального фундамента. Дно карьера загромождено кучами глыб некондиционных пород.

Почвы на дне Усть-Сокского карьера практически отсутствуют. Здесь наблюдаются лишь начальные стадии формирования биогенного слоя из листовой подстилки и лишайников. Этот маломощный слой (толщиной до 1 см) пока не образует сплошного покрова и залегает фрагментарно на скальном фундаменте под пологом древесной растительности. В северо-восточной части дна Усть-Сокского карьера за счет снеговых и дождевых осадков образовалось неглубокое (0,2-0,7 м) пресноводное озеро. В жаркие и сухие периоды года оно может пересыхать, а в дождливые периоды или после снежных зим наполняться водой. Так, летом 2010 г. из-за сильной засухи озеро пересохло. Но после обильного выпадения снега зимой 2010-2011 г., уже в мае 2011 г. оно в основном восстановилось в прежних границах. В озере растет рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.). На высохшем дне озера встречаются в изобилии раковины прудовика большого (*Lymnaea stagnalis* L.).

Процессы первичного почвообразования и естественного зарастания Усть-Сокского карьера начались в 70-х гг. XX в., когда была прекращена промышленная добыча строительного сырья. Рекультивационные мероприятия после закрытия Усть-Сокского карьера не проводились. К настоящему времени на дне карьера доминирует

молодая поросль деревьев. Древесный ярус представлен тополем черным (осокором – *Populus nigra* L.), осинкой (*Populus tremula* L.), березой повислой (березой бородавчатой – *Betula pendula* Roth), ивами козьей и пятитычинковой (*Salix caprea* L., *S. pentandra* L.). Изредка встречается сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). В составе данного фитоценоза преобладают самосевные разновозрастные деревья (от сеголеток до 10-15-летних). Все древесные породы – анемохоры и фотофилы. В летнее время фитоценоз пронизан лучами солнечного света. Породы, образующие дно карьера, в июле и августе сильно нагреваются и источают жар. Неприязательность указанных выше древесных пород к качеству субстрата во многом определила их пионерную роль в процессе зарастания дна карьера. Ориентировочное проективное покрытие древостоем дна карьера – не более 30%. Самый густой древостой представлен в восточной (наиболее старой по времени образования) части карьера [1-3]. Развитие древесных растений в карьере протекает замедленно. Их жизненное состояние угнетенное, что хорошо заметно по внешним признакам (низкорослость, тонкостволность, скрюченность стволов и корявость ветвей, мелколистность, светлая окраска листьев). Многие деревья имеют здесь характерную стелющуюся форму.

Травянистый ярус на дне Усть-Сокского карьера выражен слабо и крайне разрежен (проективное покрытие не превышает 3-5%). Видовой состав растений чрезвычайно бедный (примерно 10 видов). В травостое доминируют качим высочайший (*Gypsophyla altissima* L.), полынь Маршалла (*Artemisia marschalliana* Spreng.) и ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum* L.). На каменистом субстрате около озера обнаружена популяция золототысячника красивого *Centaureum pulchellum* (Sw.) Druce – очень редкого в Самарской области лугового растения древнесредиземноморского происхождения.

Как мы полагаем, одним из важнейших лимитирующих факторов видового разнообразия растений в Усть-Сокском карьере является специфика геохимического фона. Продолжая прежние исследования по аккумуляции тяжелых металлов в почвах и растениях Самарской области [4], в

Усть-Сокском карьере было изучено накопление некоторых тяжелых металлов (Zn, Cu, Ni, Cd, Pb) в субстрате и вегетативных органах березы повислой.

Условия и методы исследований. Полевые эколого-биогеохимические исследования в Усть-Сокском карьере осуществлялись в июле 2010 г. В качестве объектов изучения были выбраны береза повислая и верхний слой подкоронового субстрата. Для сравнительного анализа использовался соответствующий почвенный и растительный материал из лесного массива Сокольных гор, расположенного над восточной частью карьера, годовичные побеги березы из городского двора в г. Самаре, почвы контрольного участка в окрестностях с. Колывань Красноармейского района Самарской области, а также литературные данные о региональных фоновых концентрациях тяжелых металлов в почвах и листьях березы [4]. При выборе пробных площадей, отборе образцов субстрата, почв и растительного материала авторы руководствовались общепринятыми в экологических и почвенных исследованиях методами. Определение содержания тяжелых металлов (Zn, Cu, Ni, Cd, Pb) в почвенных и растительных образцах производилось атомно-абсорбционным методом. Характер суммарного распределения тяжелых металлов по тканям годовичных побегов березы повислой изучался на основе их гистохимического выявления с дитизином. Образцы отбирались на 3 пробных площадях: пробная площадь 1 – верхняя терраса карьера над его восточной оконечностью; пробная площадь 2 – днище восточной части карьера; пробная площадь 3 – днище западной части карьера. Пробные площади были заложены как в разных частях карьера, так и на разных гипсометрических уровнях (соответственно на высоте 147, 78 и 39 м над уровнем моря) техногенного рельефа.

Результаты исследований. В табл. 1 представлены результаты атомно-адсорбционного анализа количественного содержания тяжелых металлов в субстрате Усть-Сокского карьера и почвах контрольного участка, расположенного в окрестностях с. Колывань.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в субстрате карьера, контрольных и региональных почвах, ПДК валовых форм, мг/кг

Вариант	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb
Пробная площадь 1	25,4	8,0	29,4	2,0	34,5
Пробная площадь 2	105,0	18,5	42,5	2,45	41,5
Пробная площадь 3	68,7	28,8	59,3	1,15	26,9
Контроль (с. Колывань)	31,7	20,0	34,0	0,57	21,0
Региональный фон	75,5	27,5	28,6	< 2,0	11,2
ПДК для почв	100,0	55,0	85,0	2,0	32,0

В целом для субстрата карьера концентрации Ni, Cd, Pb были выше регионального фона, а концентрации Cu и Zn соответствовали или уступали ему. ПДК в субстратах карьера были достигнуты или превышены на пробных площадях 1

(Cd, Pb) и 2 (Zn, Cd, Pb). В почвах контрольного участка (окрестности с. Колывань) содержание большинства анализируемых тяжелых металлов несколько уступало региональному фону. Только содержание Pb в контрольных почвах превысило

региональный фон в 2 раза, но не достигло уровня ПДК.

При оценке металлоаккумуляции в субстратах карьера на отдельных пробных площадях было выявлено, что тяжелые металлы образуют 2 группы. У первой группы (Pb, Zn, Cd) максимальные концентрации приходится на восточную часть дна карьера, где они достигают или несколько превышают ПДК. Средний уровень концентраций характерен для верхней террасы восточной части карьера (Pb, Cd) и для западной части дна (Zn). Вторая группа (Ni, Cu) характеризуется максимальным накоплением в субстрате западной части дна карьера, средним уровнем накопления в субстрате восточной части карьера и минимальным уровнем – для субстрата верхней террасы. ПДК Cu и Ni не превышены.

Превышение концентраций тяжелых металлов в субстрате Усть-Сокского карьера над фоновыми показателями, по-видимому, связано с выраженной поглотительной способностью субстрата, приводящей к снижению миграции элементов и, как следствие, к их активному накоплению. Это обстоятельство и длительное поступление тяжелых металлов с атмосферными потоками от разнообразных источников и, прежде всего, от г. Самары, определяют особенности его геохимического фона в отношении анализируемых тяжелых металлов.

Среди древесных пород, активно участвующих в самозарастании террас и дна Усть-Сокского карьера, заметную роль играет береза повислая, размножающаяся здесь семенным путем. Для исследований выбирались деревья березы на тех же пробных площадях, на которых

отбирались образцы субстрата на анализ содержания тяжелых металлов. Особенности изменения морфологических параметров березы в условиях карьера отражают показатели площади листа в сравнении с аналогичным показателем березы на участке ненарушенного леса в Сокольных горах. Площадь листьев березы, растущей в карьере, варьировала от 10 до 14 см². Наиболее крупные листья были определены для образцов, собранных на дне карьера. Образцы с верхней террасы имели наименьший размер листовой пластинки. Но площадь листьев из всех образцов, взятых в карьере, достоверно уступала площади листьев из образцов, отобранных в лесном массиве Сокольных гор (16,8 см²). В табл. 2 показано содержание тяжелых металлов в листьях березы повислой со всех пробных площадей в Усть-Сокском карьере и из лесного массива Сокольных гор на фоне региональных показателей для березы [4]. Максимальная концентрация всех анализируемых тяжелых металлов была выявлена в листьях березы из лесного массива в Сокольных горах. В образцах из карьера самые высокие концентрации Pb и Ni были установлены в листьях березы из восточной части дна, а Zn, Cd, Cu – с верхней террасы. Накопление тяжелых металлов в листьях березы, произрастающей в карьере, существенно превышало региональный фон только по Cd, Pb и частично по Zn. При этом содержание Cd было выше регионального фона в 3-4 раза, а Pb – почти в 10 раз. Содержание Cu, наоборот, в 10 раз уступало региональному фону, а содержание Ni – практически соответствовало этому показателю.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в листьях березы повислой из карьера, лесного массива Сокольных гор, региональный фон, мг/кг

Вариант	Zn	Cu	Ni	Cd	Pb
Пробная площадь 1	52,01	3,47	4,38	0,38	2,74
Пробная площадь 2	47,71	2,43	5,42	0,3	3,57
Пробная площадь 3	41,93	3,22	3,76	0,32	2,51
Лес, Сокольи горы	52,99	4,27	5,55	0,58	3,84
Региональный фон	42,75	31,37	5,74	0,1	0,38

Оценка соотношения содержания анализируемых элементов в субстрате карьера и листьях березы повислой, произрастающей в нем, осуществленная на основе корреляционного анализа, показала, что прямая зависимость очень высокого уровня значимости ($r=0,94$) характерна только для Pb. Все остальные элементы имеют низкие и отрицательные коэффициенты корреляции (r). Это может свидетельствовать о том, что в листьях березы из субстрата беспрепятственно поступает только Pb, а остальные элементы растения получают преимущественно воздушным (аэральным) путем. Возможны и физиологические механизмы ограничения поступления металлов в ткани листа березы, в том числе по механизмам синергизма и антагонизма. Так, синергизм проявляется при накоплении в листьях березы из карьера Cd в отношении Zn ($r=0,66$) и Cu ($r=0,84$); Ni – в

отношении Pb ($r=0,98$). Антагонизм установлен только при накоплении Cu в отношении Ni ($r=-0,82$) и Pb ($r=-0,90$).

Установлено также, что аккумуляция конкретных элементов листьями березы из карьера зависит от содержания в субстрате других тяжелых металлов. Например, бионакопление Zn положительно и достоверно коррелирует с содержанием в субстрате Pb ($r=0,6$) и Cd ($r=0,71$); бионакопление Ni коррелирует с содержанием в субстрате Zn ($r=0,6$), Cd ($r=0,95$) и Pb ($r=0,98$); бионакопление Pb связано с содержанием в субстрате Zn ($r=0,71$) и Cd ($r=0,88$). Аккумуляция в листьях березы Cu и Cd не проявила достоверной связи с содержанием в субстрате карьера других тяжелых металлов.

Гистохимическое выявление суммарного содержания тяжелых металлов в тканях годичных

побегов березы повислой показало, что минимальный уровень во всех анализируемых структурах характерен для образцов из городского двора. В условиях Усть-Сокского карьера максимальные показатели для всех тканей годичного побега были установлены в образцах из восточной части днища карьера, средние – с западной его части, а минимальные – для верхней террасы. Гистохимический анализ, не являясь строго количественным, тем не менее четко фиксирует интенсивность суммарного поглощения металлов отдельными тканями растений. Произведенный нами гистохимический анализ однозначно показал более высокую поглотительную способность тканей годичных побегов березы повислой из карьера по сравнению с той же березой, произрастающей на городской почве. Эти различия, очевидно, имеют физиологическую основу. Обедненный водой и прочно удерживающий элементы минерального питания карбонатный субстрат карьера вынуждает растения интенсифицировать всасывающую способность корней, что приводит к попутному обогащению проводящих тканей вегетативных органов (ксилемы, флоэмы) тяжелыми металлами. При этом определенную роль играет и аэральное поступление металлов, на что указывает достаточно высокий уровень металлоаккумуляции в покровных тканях побегов березы (кутикула, перидерма).

Выводы.

1. Установлено существенное загрязнение субстрата Усть-Сокского карьера Zn, Ni, Cd, и Pb относительно региональных фоновых показателей. Концентрации тяжелых металлов, равные или немного превышающие ПДК, выявлены для Cd, Pb, Zn в субстрате верхней террасы и днища в восточной части карьера.

2. Концентрации анализируемых тяжелых металлов в листьях березы повислой из карьера уступают аналогичным показателям для листьев березы из лесного массива Сокольных гор, причем содержание в Cd и Pb в листьях березы из карьера

существенно превышает региональный фон (в 3-10 раз).

3. Особенности распределения тяжелых металлов в тканях березы повислой, а также выявленные нами концентрации и корреляционные зависимости указывают на сложные механизмы поступления минеральных элементов в вегетативные органы березы в условиях карьера, что связано как с видовой специфичностью изучаемого растения, так и с физико-химическими и геохимическими особенностями карбонатного субстрата.

4. Проведенные исследования подтвердили предположение о том, что геохимические особенности субстрата карьера существенно влияют на условия минерального питания растений, что и определяет отбор видов, способных участвовать в процессах его естественной рекультивации (самозарастания).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Головлёв, А.А. Эколого-биогеохимические особенности растений рекреационной и техногенно-нарушенной территории (на примере городского округа Самара) / А.А. Головлёв, Н.В. Прохорова, П.А. Артюгин // Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий: Материалы III Международ. науч.-практ. конф. 20-21 мая 2010 г. – Астрахань: Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2010. С.160-164.
2. Головлёва, Н.М. Усть-Сокский карьер: эстетический, научно-познавательный и природоохранный аспекты / Н.М. Головлёва, А.А. Головлёв, Н.В. Прохорова // Заповедное дело России: Принципы, проблемы, приоритеты: Мат-лы Междунар. науч. конф. – Т.1. – Бахилова Поляна, 2003. С.159-162.
3. Прохорова, Н.В. Растительность Усть-Сокского карьера (Самарская область) / Н.В. Прохорова, А.А. Головлёв // Самарская Лука: бюллетень. 2003. №13. С. 339-343.
4. Прохорова, Н.В. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н.В. Прохорова, Н.М. Матвеев, В.А. Павловский. – Самара: Издательство «Самарский университет», 1998. 131 с.

ECOLOGICAL-BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF SUBSTRATUM AND PLANTS FROM UST-SOKSKY OPEN-CAST MINE

© 2011 N.V. Prohorova¹, A.A. Golovlyov², Yu.V. Makarova¹, P.A. Artyugin¹

¹ Samara State University

² Samara State Economic University

On the general background of self-overgrowing process in Ust-Soksky open-cast mine features of heavy metals accumulation in its substratum and vegetative bodies of birch (*Betula pendula* Roth) are revealed.

Key words: *Ust-Soksky open-cast mine, carbonate substratum, heavy metals*

Nataliya Prokhorova, Doctor of Biology, Professor at the Department of Ecology, Botany and Nature Protection. E-mail: ecology@ssu.samara.ru

Aleksey Golovlyov, Doctor of Geography, Professor at the Department of Economical and Social Geography

Yuliua Makarova, Candidate of Biology, Assistant at the Department of Ecology, Botany and Nature Protection

Pavel Artyugin, Student