

## РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ПРИ ЛЕСНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

А.Ю. Кулагин

ФГБУ «Российская Академия Наук», Уфимский Институт биологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября, д. 69

coolagin@list.ru

Проведение ретроспективного анализа формирования ландшафтно-экологического подхода к рекультивации нарушенных земель показало, что технологии рекультивации развивались от сельскохозяйственного направления до ландшафтно-экологического с учетом природно-климатических особенностей и направленности на снижение экологических рисков. Лесное направление рекультивации представляется перспективным способом ликвидации накопленного экологического ущерба, образованного при разработке месторождений полезных ископаемых. Показано, что успешная лесная рекультивация нарушенных земель носит региональный характер и связана с восстановлением структурно-функциональной целостности ландшафтно-экологических комплексов. Опытно-производственные работы по лесовосстановлению на отвалах рекомендуется проводить с минимальными затратами на технический этап рекультивации. Определено, что древесные растения депонируют токсичные химические элементы и снижают уровень вторичного загрязнения окружающей среды. Предпочтение лесной рекультивации антропогенных ландшафтов связано с восстановлением их биологической продуктивности и ограничениями на сельскохозяйственное использование нарушенных земель.

**Ключевые слова:** промышленные отвалы, лесная рекультивация, аккумуляция химических элементов

**Ссылка для цитирования:** Кулагин А.Ю. Ретроспективный анализ формирования ландшафтно-экологического подхода при лесной рекультивации нарушенных ландшафтов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 48–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-48-54

Социально-экономическое сбалансированное существование и развитие общества неразрывно связаны с природопользованием. Расширение добычи полезных ископаемых и их дальнейшая переработка требуют применения современных технологий на всех этапах этих процессов. Рост численности населения, его возрастающие потребности определяют необходимость постоянного совершенствования промышленного производства [1–5].

Общий ретроспективный анализ подходов к поиску и разведке месторождений полезных ископаемых состоит из комплекса методов наблюдения, анализа и обобщения, которые предусматривают описание обнажений, обнаружение поверхностного залегания полезных ископаемых, закладку шурфов и разведочное бурение, проведение геохимических и геофизических исследований, развитие теории генезиса и формирования месторождений. Разработка месторождений полезных ископаемых в общем виде сводится к открытым, шахтным и глубинным методам с использованием технологий бурения и геохимических методов извлечения продуктов, в частности металлов.

Комплексные ландшафтно-геологические, геофизические и геохимические методы поиска, разведки, оценки запасов и обоснования технологий разработки месторождений и добычи полезных ископаемых до настоящего времени ориентированы на конечный результат — получение сырья и продукта. При этом потребности промышленности и поставленные задачи нередко вступают в противоречие с необходимостью обеспечения высокого качества жизни людей, поскольку разработка месторождений полезных ископаемых приводит к негативным последствиям:

- разрушение ландшафтно-экологических природных комплексов;
- формирование карьерно-отвальных комплексов;
- создание терриконов и образование пустот при проведении подземных горных работ;
- образование нарушенных территорий, занятых отстойниками и отходами в результате обогащения руд и извлечения отдельных элементов;
- газодымовые выбросы в окружающую среду предприятиями по энергообеспечению;
- вторичное геохимическое загрязнение прилегающих ландшафтов и окружающей среды (атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, объектов растительного и животного мира) вследствие водно-ветровой эрозии в пределах промышленных объектов.

Таким образом, в зонах расположения и функционирования промышленности по добыче и переработке полезных ископаемых формируются территории экологических рисков [6–9]. История их образования насчитывает 200–300 лет. Однако начиная с XX в. процессы техногенеза и их последствия приобрели масштабный и катастрофический характер. Ситуация усугубляется технологическими издержками и физическим износом оборудования, что приводит к увеличению частоты и масштабов аварий. Следовательно, вопросы о ликвидации накопленного экологического ущерба в отдельных регионах стали актуальными и требуют безотлагательного решения.

## Цель работы

Цель работы — ретроспективный анализ формирования ландшафтно-экологического подхода при лесной рекультивации техногенных ландшафтов в части восстановления структурно-функциональной целостности природных комплексов на нарушенных землях, снижении негативного воздействия на окружающую среду и ликвидации накопленного экологического ущерба при разработке месторождений полезных ископаемых.

## Материалы и методы

Оценивались результаты опытно-производственных работ по лесной рекультивации отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза, выполненных в 1981–1983 гг. Лесовосстановление на промышленных отвалах проводилось без нанесения плодородного слоя почвы поверх отвальных грунтов [10–12]. В работе представлена характеристика состояния 40-летних лесных насаждений.

Объекты исследования — насаждения березы повислой (*Betula pendula* Roth), лиственницы Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза. Выбор видов древесных растений обусловлен ареалом произрастания, устойчивостью к экстремальным природным и техногенным факторам, доступностью посадочного материала.

Исследования состояния лесных насаждений на отвалах осуществлялись по общепринятым методикам [13–16]. Оценка относительного жизненного состояния насаждений проводилась с использованием методики В.А. Алексеева [17].

Исследовались особенности накопления отдельных химических элементов в древесных растениях. Содержание химических элементов в грунтах и растениях определялось методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (спектрофотометр ААС-3, Carl Zeiss Jena) [18, 19]. Повторность — 10 проб.

Статистическая обработка фактического материала выполнялась с использованием общепринятых методов с помощью пакета программы Microsoft Office Excel версии 2016.

## Результаты и обсуждение

Насаждения березы повислой, лиственницы Сукачева и сосны обыкновенной представляют лесные культуры, созданные на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза с использованием стандартных технологий посадки древесных пород [10, 11].

По диагностическим признакам густота кроны деревьев составляет от 85 до 90 %, наличие мертвых сучьев на стволах — от 0 до 10 %, степень повреждения листьев — от 0 до 10 %. Среднее относительное жизненное состояние насаждений данных лесообразующих видов на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза составляет 91...95 % и оценивается как «здоровое».

В связи с оценкой вклада древесных насаждений в оптимизацию экологических условий и выполнение защитных функций исследовались особенности накопления отдельных химических элементов в березе повислой, лиственнице Сукачева и сосне обыкновенной, произрастающих на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза. Установлено, что содержание отдельных элементов в почвогрунтах (табл. 1) под древесными растениями в целом ниже, чем на необлесенных участках. Количество марганца в грунтах необлесенного участка отвалов бурогоугольного месторождения на 30 % больше по сравнению с облесенными территориями.

Отмечается видоспецифичность древесных видов по коэффициенту накопления марганца у березы — 2,0, у лиственницы — 5,3, у сосны — 5,8. В почвогрунтах под насаждениями березы цинк обнаруживается в следовых количествах. Коэффициент накопления цинка лиственницей составляет 7,8. Установлено увеличение коэффициента аккумуляции свинца в ряду: береза (1,8) — лиственница (2,3) — сосна (3,9). Кроме того, наблюдается резкое увеличение коэффициента накопления кадмия в ряду: береза (6,7) — лиственница (97,6) — сосна (238,0).

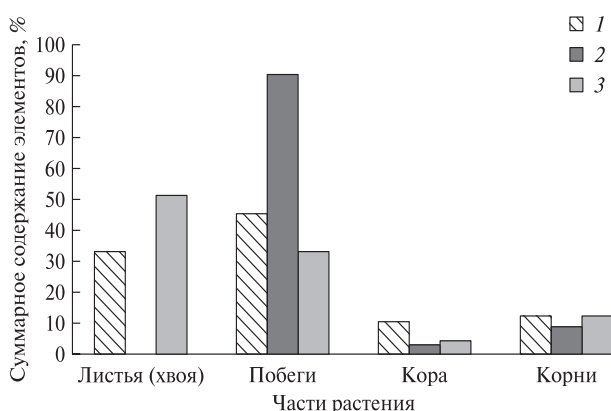
Сравнение распределения металлов по органам древесных растений (рисунок) свидетельствует о том, что наибольшее количество поглощенных техногенных элементов накапливается в побегах и в ассимиляционных органах древесных растений, меньшее — в корнях и коре.

Древесные растения, произрастающие на промышленных отвалах, способны депонировать часть техногенных элементов [20]. При этом отмечается значительное накопление техногенных элементов в побегах и ассимиляционном аппарате древесных растений [21, 22].

**Содержание химических элементов (ppm) в образцах почвогрунтов  
(приповерхностный слой 0...10 см) на степных участках  
и участках лесной рекультивации отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза**

**The content of chemical elements (ppm) in soil samples (surface layer 0...10 cm) in steppe areas  
and areas of forest recultivation of dumps in the Kumertau brown coal mine**

Химический элемент	Степной необлесенный участок	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Larix sukaczewii</i> Dyl.	<i>Pinus sylvestris</i> L.
Cr	15,0 ± 3,8	353,0 ± 97,4	341,0 ± 92,1	238,0 ± 81,7
Co	2,3 ± 0,7	22,0 ± 8,6	22,0 ± 6,9	22,0 ± 8,2
Mo	0,23 ± 0,08	0,7 ± 0,2	0,55 ± 0,17	0,71 ± 0,26
Pb	1,5 ± 0,4	13,0 ± 4,7	19,0 ± 5,3	10,0 ± 3,0
Hg	0,03 ± 0,009	0,06 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,04 ± 0,01
As	0,51 ± 0,13	27,0 ± 6,9	17,0 ± 5,5	18,0 ± 5,8
Mn	991,0 ± 267,2	601,0 ± 173,8	673,0 ± 199,1	514,0 ± 152,7
Ni	876,0 ± 216,7	207,0 ± 62,4	253,0 ± 76,3	231,0 ± 63,8
Sr	181,0 ± 49,0	86,0 ± 21,9	83,0 ± 23,7	55,0 ± 14,2
Cd	5,4 ± 1,1	0,55 ± 0,16	0,15 ± 0,04	Следы
P	3300,0 ± 990	692,0 ± 216,7	294,0 ± 53,1	526,0 ± 159,8
Cu	Следы	Следы	81,0 ± 21,8	Следы
Ag	Следы	Следы	0,06 ± 0,02	Следы
Zn	11,0 ± 3,4	Следы	77,0 ± 21,9	Следы



Распределение элементов в органах древесных растений, произрастающих на отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза: 1 — *Betula pendula* Roth; 2 — *Larix sukaczewii* Dyl.; 3 — *Pinus sylvestris* L.

The distribution of elements in the organs of woody plants growing on the dumps in the Kumertau brown coal mine: 1 — *Betula pendula* Roth; 2 — *Larix sukaczewii* Dyl.; 3 — *Pinus sylvestris* L.

Оценивая общую аккумулирующую способность древесных растений по отношению к химическим элементам в условиях промышленных отвалов, можно составить следующий ряд по аккумулирующей способности: береза > сосна > > лиственница (табл. 2). С учетом выявленной биоаккумулирующей способности древесных растений можно рекомендовать указанные древесные породы для проведения лесной рекультивации и создания защитных насаждений на промышленных отвалах.

Многолетняя разработка месторождений полезных ископаемых приводит к нарушениям

ландшафтно-экологических природных комплексов и к формированию техногенных карьерно-отвальных ландшафтов [1, 10, 23]. Отвалы являются источниками вторичного загрязнения прилегающих территорий за счет водной и ветровой эрозии. Использование карьерно-отвальных комплексов и прилегающих территорий в агрохозяйственных целях недопустимо в связи с вероятностью вторичного загрязнения окружающей среды (тяжелые металлы и их соединения) [24–27]. Лесная рекультивация техногенно-нарушенных территорий — отвалов и карьеров, снижает водно-ветровую эрозию (в 1,5–2 раза по сравнению с открытыми пространствами), сокращает сроки восстановления биологической продуктивности (на 15–20 лет) и обеспечивает многолетнюю биологическую консервацию токсичных соединений. Следует отметить, что лесная рекультивация нарушенных ландшафтов обеспечивает восстановление ландшафтных комплексов и биологического разнообразия, восстанавливает ресурсную значимость техногенных ландшафтов в условиях антропогенной трансформации окружающей среды.

Оценивая историю и опыт восстановления ландшафтно-природных комплексов на территориях, нарушенных при добыче и переработке полезных ископаемых, следует отметить, что в процессе формирования промышленности эти вопросы решались следующим образом:

1) извлечение природного ресурса и последующее естественное восстановление растительности и экосистем на нарушенных территориях проводились без дополнительных финансовых

Т а б л и ц а 2

**Суммарное содержание (средние значения) химических элементов (ppm) в почвах и древесных растениях на промышленных отвалах Кумертауского бурогоугольного разреза**

**Total content (average values) of chemical elements (ppm) in soils and woody plants on industrial dumps in the Kumertau brown coal mine**

Показатель	<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Larix sukaczewii</i> Dyl.	<i>Pinus sylvestris</i> L.
Сумма элементов в растении	15385,95	9911,0	5611277,50
Сумма элементов в почве под растениями	2002,31	1860,86	1614,36
Отношение суммы элементов в растении к сумме элементов в почве под растениями	7,7	5,3	7,0

затрат на рекультивацию и восстановление биологической продуктивности.

Отличительной чертой данного подхода является длительный период рекультивации и сопутствующее вторичное геохимическое загрязнение прилегающих ландшафтов;

2) после завершения работ по добыче полезных ископаемых выполнялись работы, направленные на сельскохозяйственное использование нарушенных земель (планировку территорий, нанесение плодородного слоя почвы, внесение органоминеральных удобрений и пр.).

Данный подход связан со значительными затратами на организацию территорий, не исключавший получение сельскохозяйственной продукции низкого качества (зерновых и овощных культур), формирование пастбищных и сенокосных угодий и плодово-ягодных насаждений с повышенным содержанием отдельных химических элементов;

3) с учетом близости к карьерно-отвальным комплексам населенных пунктов в незначительных масштабах практиковалась организация коллективных садов и товариществ.

Затраты на организацию территорий и получение продукции перекладывались на людей. При этом сохранялась опасность поступления токсичных соединений в организм человека с продуктами потребления (овощами, фруктами);

4) внедрение искусственного лесовосстановления на нарушенных землях с учетом региональных природно-климатических и эколого-биологических особенностей древесно-кустарниковых растений.

Преимущество лесного направления рекультивации промышленных отвалов обусловлено олиготрофностью большинства видов древесных растений, засухоустойчивостью и устойчивостью к промышленным токсикантам ряда видов древесных растений, а главное — способностью формировать длительно функционирующие лесные растительные группировки;

5) анализ опыта проведения рекультивации земель, нарушенных при разработке месторождений полезных ископаемых, свидетельствует о целесообразности широкого применения лесного направления, при котором к минимуму сводятся затраты на технический этап рекультивации, обеспечивается снижение водно-ветровой эрозии на нарушенных землях, достигается наилучший экологический эффект за счет формирования ландшафтно-природного комплекса.

## Выводы

Ретроспективный анализ свидетельствует о том, что при разработке месторождений полезных ископаемых происходит разрушение ландшафтно-экологических комплексов, разрушение почвенного и растительного покровов, нарушение естественных биогеохимических циклов с проявлениями эффектов вторичного загрязнения окружающей среды (загрязнение поверхностных и грунтовых вод, загрязнение атмосферного воздуха и пр.). Технологии рекультивации развивались от сельскохозяйственного направления до ландшафтно-экологического с учетом природно-климатических особенностей и направленности на снижение экологических рисков. Современный этап в природопользовании заключается в необходимости ликвидации накопленного экологического ущерба при разработке месторождений полезных ископаемых.

Показано, что актуальность рекультивации нарушенных земель носит региональный характер и связана с восстановлением структурно-функциональной целостности ландшафтно-экологических комплексов.

Установлено, что опытно-производственные работы по лесовосстановлению на отвалах могут проводиться с минимальными затратами на технический этап рекультивации. Древесные растения депонируют токсичные химические элементы и снижают уровень вторичного загрязнения окружающей среды.

С учетом техногенной трансформации окружающей среды и ограничениями на сельскохозяйственное использование нарушенных земель, перспективной представляется лесная рекультивация с дальнейшим восстановлением биологической продуктивности.

Исследования проводились с использованием оборудования центра коллективного пользования «Агидель» в рамках выполнения плановых исследований по бюджетной теме Рег. № НИОКТР АААА-А18-118022190103-01 и при поддержке гранта Министерства образования и науки Республики Башкортостан НОЦ-РМГ-2021 «Создание методологических основ оценки баланса парниковых газов и определения потенциала депонирования углерода в экосистемах».

## Список литературы

- [1] Колесников Б.П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 73–87.
- [2] Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1998. 97 с.
- [3] Skrynetska I., Ciepał R., Kandziora-Ciupa M., Barczyk G., Nadgórska-Socha A. Ecophysiological Responses to Environmental Pollution of Selected Plant Species in an Industrial Urban Area // International J. of Environmental Research, 2018, V. 12, pp. 255–267.
- [4] García-Sánchez I.E., Barradas V.L., Ponce de León Hill C.A., Esperón-Rodríguez M., Pérez I.R., Ballinas M. Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO<sub>2</sub> and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico City // Urban Forestry & Urban Greening, 2019, V. 42, pp. 72–81.
- [5] Bakhtina S.Y., Yanbaev Yu.A., Kulagin A.Yu., Redkina N.N., Masalimov I.Kh., Fayzrakhmanov Sh.F. Dynamics of annual growth of common pine on industrial dumps of miming companies // J. of Forestry Research, 2020, v. 32(107), pp. 1–9.  
<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01212-9>
- [6] Das S., Prasad P. Seasonal Variation in Air Pollution Tolerance Indices and Selection of Plant Species for Industrial Areas of Rourkela // Indian J. of Environmental Protection, 2010, v. 30, no. 12, pp. 978–988.
- [7] Rostunov A., Konchina T., Zhestkova E., Gusev D., Kharitonov S. The Dependence of Morphological and Physiological Indicators of the Leaves of Woody Plants on the Degree of Technogenic Pollution // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th Int. Sci. and Pract. Conf., v. 1, Latvia, Rezekne, June 15–17, 2017. Latvia: Rezekne Academy of Technologies, 2017, pp. 235–239.
- [8] Sensuta B., Wilczyński S., Monin L., Allan M., Pazdur A., Fagel N. Variations of tree ring width and chemical composition of wood of pine growing in the area nearby chemical factories // Geochronometria, 2017, v. 44, pp. 226–239.
- [9] Urazgil'din R.V., Amineva K.Z., Zaitsev G.A., Kulagin A.Yu. Comparative Characteristics of Pine, Spruce and Larch Pigmental Complex Seasonal Variability in Industrial Pollution Conditions. The Fourth International Scientific Conference on Ecology and Geography of Plants and Plant Communities, KnE Life Sciences, Ekaterinburg, April 16–19, 2018, pp. 232–242. DOI 10.18502/cls.v4i7.3244
- [10] Баталов А.А., Мартыянов Н.А., Кулагин А.Ю., Горюхин О.Б. Лесовосстановление на промышленных отвалах Предуралья и Южного Урала. Уфа: Изд-во БНЦ УрО АН СССР, 1989. 140 с.
- [11] Кулагин А.Ю., Ведерников К.Г., Мартыянов Н.А., Баталов А.А. Лесная рекультивация отвалов Кумертауского бурогоугольного разреза // Тр. Стерлитамакского филиала АН РБ. Уфа: Гилем, 2001. Вып. 1. С. 45–49.
- [12] Радостева Э.Р. Содержание меди в органах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях отвалов бурогоугольного и полиметаллического месторождений // Башкирский экологический вестник, 2011. № 1. С. 47–50.
- [13] Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с.
- [14] Сукачев В.Н., Раунер Ю.Л., Молчанов А.А., Роде А.А. Программа и методика биогеоэкологических исследований / под ред. В.Н. Сукачева, Н.В. Дылиса. Москва: Наука, 1966. 333 с.
- [15] Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на Европейском Севере. СПб: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 1997. 210 с.
- [16] Ярмишко В.Т., Лянгузова И.В. Методы изучения лесных сообществ. СПб: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2002. 240 с.
- [17] Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
- [18] Брицке М.Э. Атомно-абсорбционный спектрохимический анализ (Методы аналитической химии). М.: Химия, 1982. 224 с.
- [19] Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
- [20] Махонина Г.И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1987. 168 с.
- [21] Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Поварничина Т.М. К вопросу о влиянии техногенной среды на формирование и биохимический состав годичного побега древесных растений // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2007. № 2. С. 145–148.
- [22] Brunner I., Luster J., Günthardt-Goerg M.S., Frey B. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil // Environmental Pollution, 2008, V. 152, pp. 559–568.
- [23] Зверковский В.Н., Тупика Н.П. Биоэкологическое обоснование лесной рекультивации нарушенных земель // Биологическая рекультивация нарушенных земель. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. С. 112–125.
- [24] Freer-Smith P.H., Taylor G. Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition and mineral deficiencies on gas exchange of trees // Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992, V. 42, Iss. 3–4, pp. 321–332.
- [25] Chelli-Chaaboimi A. Mechanisms and Adaptation of Plants to Environmental Stress: A Case of Woody Species // Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2013, pp. 1–18.
- [26] Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heyser R., Polle A. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees, *Platanus orientalis* L. // Bul. of Environmental Contamination and Toxicology, 2010, N 85, pp. 251–255.
- [27] Радостева Э.Р., Кулагин А.Ю. Биоаккумуляция металлов в органах древесных растений в условиях полиметаллических отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината (Республика Башкортостан) // Изв. Самарского научного центра РАН, 2011. Т. 13. № 5 (2). С. 200–202.

## Сведения об авторе

Кулагин Алексей Юрьевич — д-р биол. наук, профессор, зав. лабораторией лесоведения Уфимского института биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, coolagin@list.ru

Поступила в редакцию 10.06.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 28.09.2022.

## RETROSPECTIVE ANALYSIS OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL APPROACH FOR DISTURBED LANDSCAPES RECULTIVATION

A. Yu. Kulagin

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 69, October pr., 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

coolagin@list.ru

Conducting a retrospective analysis of a landscape-ecological approach to the recultivation of disturbed lands showed that the recultivation technologies have developed from an agricultural direction to a landscape-ecological one, taking into account natural and climatic features and the focus on reducing environmental risks. The forest-oriented recultivation seems to be a promising way to eliminate the accumulated environmental damage formed during the development of mineral deposits. It is shown that successful forest recultivation of disturbed lands has local features and is associated with the restoration of the structural and functional integrity of landscape and ecological complexes. Pilot work on reforestation on dumps is recommended to be carried out with minimal costs for the technical stage of recultivation. It has been determined that woody plants deposit toxic chemical elements and reduce the level of secondary environmental pollution. The preference for forest reclamation of anthropogenic landscapes is associated with the restoration of their biological productivity and restrictions on the agricultural use of disturbed lands.

**Keywords:** industrial dumps, forest reclamation, accumulation of chemical elements

**Suggested citation:** Kulagin A. Yu. *Retrospektivnyy analiz formirovaniya landshaftno-ekologicheskogo podkhoda pri lesnoy rekul'tivatsii narushennykh landshaftov* [Retrospective analysis of landscape-ecological approach for disturbed landscapes recultivation]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 48–54.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-48-54

## References

- [1] Kolesnikov B. P. *O nauchnykh osnovakh biologicheskoy rekul'tivatsii tekhnogennykh landshaftov* [On the scientific foundations of biological reclamation of technogenic landscapes]. *Problemy rekul'tivatsii zemel' v SSSR* [Problems of land reclamation in the USSR]. Novosibirsk: Nauka, 1974, pp. 73–87.
- [2] Prokhorova N. V., Matveev N. M., Pavlovskiy V. A. *Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov dikorastushchimi i kul'turnymi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e* [Accumulation of heavy metals by wild and cultivated plants in the forest-steppe and steppe regions of the Volga]. Samara: Publishing House of Samara University, 1998, 97 p.
- [3] Skrynetska I., Ciepał R., Kandziora-Ciupa M., Barczyk G., Nadgórska-Socha A. Ecophysiological Responses to Environmental Pollution of Selected Plant Species in an Industrial Urban Area. *International J. of Environmental Research*, 2018, V. 12, pp. 255–267.
- [4] García-Sánchez I. E., Barradas V. L., Ponce de León Hill C. A., Esperón-Rodríguez M., Pérez I. R., Ballinas M. Effect of heavy metals and environmental variables on the assimilation of CO<sub>2</sub> and stomatal conductance of *Ligustrum lucidum*, an urban tree from Mexico City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, V. 42, pp. 72–81.
- [5] Bakhtina S. Y., Yanbaev Yu. A., Kulagin A. Yu., Redkina N. N., Masalimov I. Kh., Fayzrakhmanov Sh. F. Dynamics of annual growth of common pine on industrial dumps of miming companies. *J. of Forestry Res.*, 2020, V. 32(107), pp. 1–9. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01212-9>
- [6] Das S., Prasad P. Seasonal Variation in Air Pollution Tolerance Indices and Selection of Plant Species for Industrial Areas of Rourkela. *Indian J. of Environmental Protection*, 2010, v. 30, N 12, pp. 978–988.
- [7] Rostunov A., Konchina T., Zhestkova E., Gusev D., Kharitonov S. The Dependence of Morphological and Physiological Indicators of the Leaves of Woody Plants on the Degree of Technogenic Pollution. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th Int. Sci. and Pract. Conf.*, V. I. Latvia: Rezekne Academy of Technologies, Latvia, Rezekne, June 15–17, 2017, pp. 235–239.
- [8] Sensula B., Wilczyński S., Monin L., Allan M., Pazdur A., Fagel N. Variations of tree ring width and chemical composition of wood of pine growing in the area nearby chemical factories. *Geochronometria*, 2017, V. 44, pp. 226–239.
- [9] Urazgil'din R. V., Amineva K. Z., Zaitsev G. A., Kulagin A. Yu. Comparative Characteristics of Pine, Spruce and Larch Pigmental Complex Seasonal Variability in Industrial Pollution Conditions. *The Fourth International Scientific Conference on Ecology and Geography of Plants and Plant Communities, KnE Life Sciences*, Ekaterinburg, April 16-19, 2018, pp. 232–242. DOI 10.18502/kl.v4i7.3244
- [10] Batalov A. A., Mart'yanov N. A., Kulagin A. Yu., Goryukhin O. B. *Lesovosstanovlenie na promyshlennykh otvalakh Predural'ya i Yuzhnogo Urala* [Tech. Reforestation on industrial dumps in the Cis-Urals and the South Urals]. Ufa: BNTs UrOAN SSSR, 1989, 140 p.

- [11] Kulagin A. Yu., Vedernikov K.G., Mart'yanov N.A., Batalov A.A. *Lesnaya rekul'tivatsiya otvalov Kumertauskogo burougol'nogo razreza* [Forest reclamation of dumps of the Kumertau lignite mine]. Trudy Sterlitamakskogo filiala AN RB [Proceedings of the Sterlitamak branch of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus]. Ufa: Gilem, 2001, Iss. 1, p. 45–49.
- [12] Radosteva E.R. *Soderzhanie medi v organakh sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i berezy povisloy (Betula pendula Roth) v usloviyakh otvalov burougol'nogo i polimetallicheskogo mestorozhdeniy* [Copper content in the organs of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Silver birch (*Betula pendula* Roth) in dumps of brown coal and polymetallic deposits]. Bashkirskiy ekologicheskiy vestnik [Bashkir Ecological Bulletin], 2011, N 1, pp. 47–50.
- [13] Ramenskiy L.G. *Vvedenie v kompleksnoe pochvenno-botanicheskoe issledovanie zemel'* [Introduction to the complex soil-botanical study of lands]. Moscow: Selkhozgiz, 1938, 620 p.
- [14] Sukachev V.N., Rauner Yu.L., Molchanov A.A., Rode A.A. *Programma i metodika biogeotsenologicheskikh issledovaniy* [Program and Methods of Biogeocenological Research]. Ed. V.N. Sukachev, N.V. Dilis. Moscow: Nauka, 1966, 333 p.
- [15] Yarmishko V.T. *Sosna obyknovennaya i atmosferno zagryaznenie na Evropeyskom Severe* [Scotch pine and atmospheric pollution in the European North]. St. Petersburg: Publishing House of the Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University, 1997, 210 p.
- [16] Yarmishko V.T., Lyanguzova I.V. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* [Methods for studying forest communities]. St. Petersburg: Publishing House of the Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University, 2002, 240 p.
- [17] Alekseev V.A. *Nekotorye voprosy diagnostiki i klassifikatsii povrezhdennykh zagryazneniem lesnykh ekosistem* [Some issues of diagnostics and classification of forest ecosystems damaged by pollution]. Lesnye ekosistemy i atmosferno zagryaznenie [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Leningrad: Nauka, 1990, pp. 38–54.
- [18] Brits M.E. *Atomno-absorbtsionnyy spektrokhimicheskiy analiz (Metody analiticheskoy khimii)* [Atomic absorption spectrochemical analysis (Methods of analytical chemistry)]. Moscow: Chemistry, 1982, 224 p.
- [19] Titov A.F., Talanova V.V., Kaznina N.M., Laydinen G.F. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam* [Plant resistance to heavy metals]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007, 172 p.
- [20] Makhonina G.I. *Khimicheskiy sostav rasteniy na promyshlennykh otvalakh Urala* [The chemical composition of plants on the industrial dumps of the Urals]. Sverdlovsk: Ural University Press, 1987, 168 p.
- [21] Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Povarnitsina T.M. *K voprosu o vliyaniy tekhnogennoy sredy na formirovaniye i biokhimicheskiy sostav godichnogo pobega drevesnykh rasteniy* [On the issue of the influence of the technogenic environment on the formation and biochemical composition of the annual shoot of woody plants]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Izhevsk State Technical University], 2007, N 2, pp. 145–148.
- [22] Brunner I., Luster J., Günthardt-Goerg M.S., Frey B. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. *Environmental Pollution*, 2008, V. 152, pp. 559–568.
- [23] Zverkovskiy V.N., Tupika N.P. *Bioekologicheskoe obosnovaniye lesnoy rekul'tivatsii narushennykh zemel'* [Bioecological substantiation of forest reclamation of disturbed lands]. Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' [Biological reclamation of disturbed lands]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003, pp. 112–125.
- [24] Freer-Smith P.H., Taylor G. Comparative evaluation of the effects of gaseous pollutants, acidic deposition and mineral deficiencies on gas exchange of trees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 1992, V. 42, iss. 3–4, pp. 321–332.
- [25] Chelli-Chaaboi A. *Mechanisms and Adaptation of Plants to Environmental Stress: A Case of Woody Species. Physiological Mechanisms and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environment*. New York: Springer-Verlag New York Inc., 2013, pp. 1–18.
- [26] Pourkhabbaz A., Rastin N., Olbrich A., Langenfeld-Heuser R., Polle A. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Plane Trees, *Platanus orientalis* L. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2010, N 85, pp. 251–255.
- [27] Radosteva E.R., Kulagin A. Yu. *Bioakkumulyatsiya metallov v organakh drevesnykh rasteniy v usloviyakh polimetallicheskikh otvalov Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata (Respublika Bashkortostan)* [Bioaccumulation of metals in the organs of woody plants in the conditions of polymetallic dumps of the Uchalinsky Mining and Processing Plant (Republic of Bashkortostan)]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, V. 13, N 5(2), pp. 200–202.

*The studies were carried out using the equipment of the Agidel Center for Collective Use as part of the planned studies on the budgetary topic Reg. No. NIOKTR AAAA-A18-118022190103-01 and with the support of a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Bashkortostan REC-RMG-2021 «Creating a methodological framework for assessing the balance of greenhouse gases and determining the potential for carbon sequestration in ecosystems».*

## Author's information

**Kulagin Aleksey Yur'evich** — Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of the Laboratory of Forest Science, Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, coolagin@list.ru

Received 10.06.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 28.09.2022.