

**Мониторинг состава растительных сообществ на отвалах
из отходов обогащения цветных металлов**

© 2019. А. Я. Тамахина, д. с.-х. н., доцент, А. А. Ахкубекова, аспирант,
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет,
360030, Россия, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 1в,
e-mail: kbgsha@rambler.ru

Изучены состояние растительного покрова и состав растительных сообществ на террасах дамбы хвостохранилища Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината. В аккумулятивном экотопе террас нижнего уровня дамбы (возраст 34–49 лет) преобладают злаково-полынные и разнотравно-полынные сообщества с проективным покрытием 59%. В трансэлювиальном экотопе террас среднего уровня (возраст 24–33 года) отмечены рудерально-естественные злаково-разнотравные сообщества с проективным покрытием 36,6%. В элювиальном экотопе террас верхнего уровня (возраст 14–23 года) формируются монодоминантные сообщества мать-и-мачехи, цикория обыкновенного и бодяка обыкновенного с проективным покрытием 13%. Старовозрастные террасы имеют наибольшее сходство с зональной флорой и характеризуются относительно высокими видовым богатством (62 вида) и насыщенностью (24 шт./м²). С увеличением продолжительности сукцессии отмечены изменения в доминирующих жизненных формах, снижение доли видов с широкими ареалами, возрастание численности гемиеврибионтов и мезобионтов. Отмечены виды травянистых растений, перспективных для фиторемедиации.

Ключевые слова: сукцессия, пионерная стадия, экотоп, растительное сообщество, хвостохранилище, первичный субстрат, тяжёлые металлы.

**Monitoring of structure of plant communities on waste
dumps from non-ferrous metals enrichment**

© 2019. А. Я. Тамакхина ORCID: 0000-0001-8958-7052
А. А. Akhkubekova ORCID: 0000-0001-8633-1094
Kabardino-Balkarian State Agrarian University,
1v, Prospect Lenina, Nalchik, Russia, 360030,
e-mail: kbgsha@rambler.ru

The state of the vegetation cover and the composition of plant communities on the terraces of the tailing dump of the Tyrnyauz tungsten-molybdenum combine were studied. Control was a section of the mountain steppe at a distance of 3–4 km up the valley of the Baksan river. Ecotopes at different levels of the terraces of the tailings dump dam differ in the nature of moistening, the qualitative composition and alkalinity of the substrate. In the accumulative ecotope of the terraces of the lower level of the dam (age 34–49 years) forbs and wormwood communities predominate with a projective cover of 59%. Rural-natural cereal and wormwood communities with a projective cover of 36.6% were noted in the transeluvial ecotope of medium terraces (age 24–33 years). In the eluvial ecotope of the upper-level terraces (age 14–23 years), the monodominant communities *Tussilago farfara* L. and *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. with a projective cover of 13% are formed. Old-aged terraces have the greatest similarity with zonal flora (control) and are characterized by relatively high species richness (62 species) and density (24 pcs/m²). With increasing duration of succession, a change in the dominant life forms from the terophytes to hemicryptophytes was established, a decrease in the proportion of species with wide ranges, an increase in the number of hemieurybionts and mesobionts. Species with no deviations from ecological regimes growing in ecotopes of early and middle-aged terraces are characterized by indifference to chemical pollution of the habitat and are promising for phytoremediation.

Keywords: succession, pioneer stage, ecotope, plant community, tailings storage, primary substrate, heavy metals.

Главными факторами, определяющими направлением восстановительной сукцессии и длительность отдельных её стадий в неоландшафтах карьерно-отвального типа, являются исходное состояние субстрата и экотопа в целом, наличие вокруг нарушенных земель высокопродуктивных природных и культурных ландшафтов, поток диаспор из

фоновых фитоценозов и банк семян [1–4]. Сукцессионный процесс на токсичных субстратах отличается высокой продолжительностью пионерной стадии, представленной экологически пластичными рудеральными видами с широкими ареалами и механизмами защиты от высокой концентрации токсичных элементов, незначительным покрытием и бедностью флористического состава, малым числом видов-доминантов, упрощённой пространственной структурой [2, 3, 5–11].

На территории Кабардино-Балкарской Республики к неоландшафтам карьерно-отвального типа относится хвостовое хозяйство обогатительной фабрики ОАО «Тырныаузский вольфрамо-молибденовый комбинат» (ТВМК), за период работы которого (1963–2001 гг.) накоплено более 80 млн м³ отходов обогащения вольфрамового, молибденового и медно-висмутового концентратов, обладающих высокой токсичностью и повышенной растворимостью в грунтовых водах [12].

В связи с относительно слабой изученностью особенностей протекания первичной сукцессии на токсичном субстрате целью исследования стал мониторинг состава растительного сообщества на отвалах из отходов обогащения цветных металлов хвостохранилища № 1 ТВМК.

Объекты и методы исследования

В ходе мониторинга растительного покрова дамбы хвостохранилища (2016–2017 гг.) объектами изучения стали участок горной степи на расстоянии 3–4 км вверх по долине р. Баксан (фон) и экотопы на разных уровнях террас западного склона дамбы хвостохранилища. Климатические условия района хвостохранилища близки к аридным со среднегодовым количеством осадков около 350 мм. Среднее содержание главных металлов в поверхностном слое промышленных отходов составляет (г/т): W – 420, Mo – 145, Zn – 290, Cu – 69, Sr – 315, Rb – 118 [12]. Климат прилегающих к хвостохранилищу территорий умеренный со среднегодовой суммой осадков 600 мм. Почвы тёмно-каштановые, реакция верхних горизонтов (0–40 см) нейтральная и слабощелочная (pH = 6,9–7,5), содержание общего азота составляет 0,26%, водорастворимых солей – 0,05–0,06%.

Эллювиальный ландшафт верхних ранневозрастных террас (Тв) характеризуется высокой плотностью грунта, сильно щелочной реакцией субстрата (pH = 9,3–9,5), транзитный

трансэлювиальный средневозрастных террас (Тс) – более рыхлым и увлажнённым грунтом, покрытым сплошным тонким слоем молодой почвы толщиной до 2 см с щелочной реакцией субстрата (pH = 8,3–8,7), аккумулятивный нижних старовозрастных террас (Тн) – увлажнённым грунтом, с первичной почвой слоем до 5 см и менее щелочной реакцией субстрата (pH = 7,9–8,2).

В ходе мониторинга проводилось геоботаническое обследование террас хвостохранилища и фонового участка, составление ботанических описаний с указанием значений проективного покрытия видов в период максимального развития травостоя (июль – август). Всего было составлено 35 описаний флоры пионерных группировок и 7 описаний фонового ландшафта. Размер учётных площадок 5 x 10 м². Сходство растительных сообществ террас и фонового участка оценивали коэффициентом Жаккара (K_j), степень равномерности распределения обилия – индексом Пиелу (E), видовое богатство – индексом Шеннона–Уивера (H). Для анализа видового разнообразия применялись кривые «доминирования – разнообразия».

Экологические оценки видов определяли по амплитудным и точечным экологическим шкалам [13–15]. По значениям климатического (It клим.) и почвенного (It почв.) индексов толерантности виды травянистых растений подразделяли на стенобионтные (СБ), гемистенобионтные (ГСБ), мезобионтные (МБ), гемизврибионтные (ГЭБ) и эврибионтные (ЭБ). Для эколого-географического анализа растительности использовали сводки по флоре Кабардино-Балкарской Республики [16]. Жизненные формы растений определяли по классификации Раункиера. Содержание тяжёлых металлов в почве и растительных образцах определяли атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией. Степень устойчивости отдельных видов к тяжёлым металлам оценивали коэффициентом биологического накопления (КБН) и транслокационным коэффициентом (КТ), равным отношению содержания элемента в надземной части к его содержанию в подземной фитомассе [17].

Результаты и обсуждение

В старовозрастных террасах присутствуют сообщества злаково-метельчато-полынные и разнотравно-метельчато-полынные с доминированием *Artemisia scoparia* Waldst., разнотравно-полынные с доминированием

A. austriaca Jacq. и *A. marschalliana* Spreng. Вследствие высокой флористической насыщенности общее проективное покрытие травянистых растений достигает 59%. На средневозрастных террасах отмечены рудерально-естественные злаково-разнотравные сообщества с проективным покрытием 36,6%. Среди злаков наиболее обильны *Festuca valesiaca* Gaudin, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Melica transsilvanica* Schur, *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Achnatherum caragana* (Trin.) Nevski. Разнотравье представлено ксерофильными и рудеральными видами (*Verbascum thapsus* L., *Cichorium intybus* L., *Achillea millefolium* L., *Pyrethrum partenifolium* Willd., *Scabiosa bipinnata* K. Koch, *Tussilago farfara* L. и др.). На молодых террасах с покрытием травянистых растений 13% отмечены монодоминантные сообщества *Tussilago farfara* L. и *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. Кусты облепихи крупновидной, посаженные с целью первичной рекультивации, находятся в угнетённом состоянии и массово засыхают.

Флористический состав изученных экотопов включает 71 вид сосудистых растений. Растительное сообщество террас нижнего уровня характеризуется относительно высоким видовым богатством (62 вида) и насыщенностью ($24,1 \pm 3,2$ шт./м²) по сравнению со средними (53 вида; $18,6 \pm 2,4$ шт./м²) и верхними (19 видов; $6,5 \pm 1,8$ шт./м²) террасами. Суммарное проективное покрытие Тн (108,8%) в 1,3–2,8 раза превышает аналогичный показатель Тс и Тв. Растительный покров Тн характеризуется наиболее выравненным

распределением обилия по таксонам ($E = 0,76$) и степенью разнообразия ($H = 4,50$) по сравнению с показателями Тс (соответственно 0,65 и 3,49) и Тв (соответственно 0,52 и 2,23).

Форма кривых «доминирования-разнообразия» свидетельствует о повышении биоразнообразия и усилении доминирования видов в сукцессионном возрастном ряду в связи со снижением стрессовой нагрузки экотопов. Пологая S-образная форма кривой «доминирования-разнообразия» Тн близка к логнормальному распределению Престона (большинство видов данного экотопа имеет среднее обилие; доминирующих и единичных видов мало). Ранговое распределение видов экотопа Тв приближается к геометрическому распределению Мотомуры, характерному для бедных маловидовых сообществ на ранних стадиях сукцессии. Ранговое распределение видов экотопа Тс характеризуется низким соответствием геометрической модели, приближаясь к логнормальному (рис. 1).

Старовозрастные террасы имеют наибольшее сходство по флористическому составу со средневозрастными террасами ($K_{\text{н-с}} = 0,53$) и фоновым экотопом ($K_{\text{н-ф}} = 0,29$). Наименьшее сходство с фоновым экотопом имеют ранневозрастные террасы ($K_{\text{в-ф}} = 0,13$). По сравнению с данными мониторинга 2003 г. ($K_{\text{н-с}} = 0,45$, $K_{\text{н-ф}} = 0,35$, $K_{\text{в-ф}} = 0,08$) установлено возрастание сходства флористического состава старо- и средневозрастных террас, а также ранневозрастных террас и фона. Снижение сходства старовозрастных террас и фонового экотопа связано с подавлением

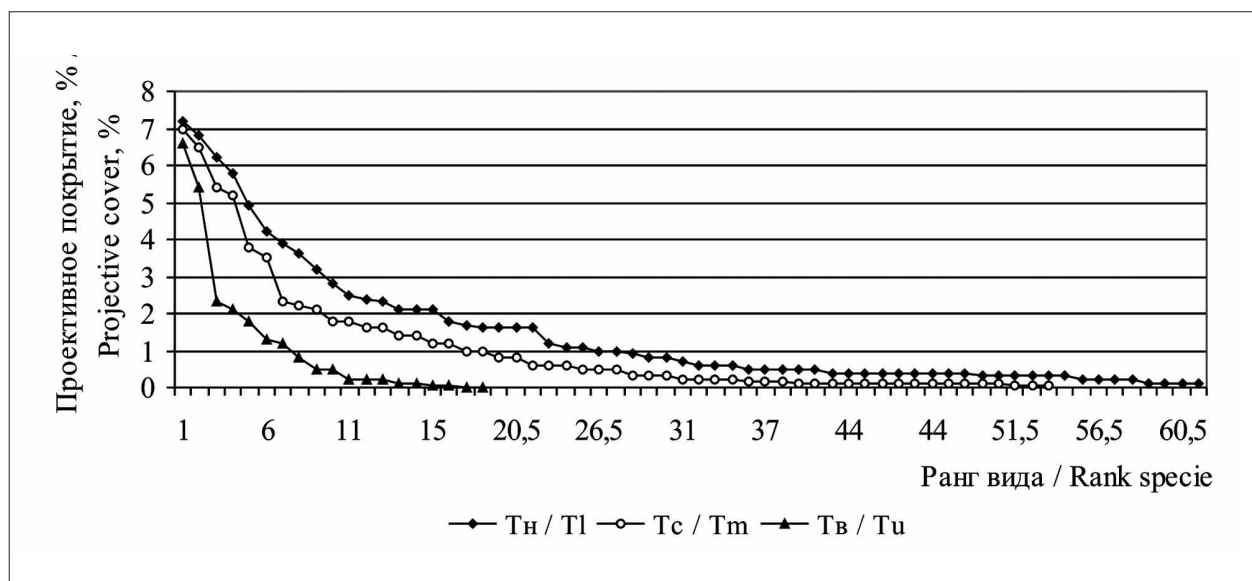


Рис. 1. Кривые «доминирования-разнообразия» в зависимости от продолжительности сукцессии
 Fig. 1. Domination-diversity curves depending on the duration of the succession

Таблица 1 / Table 1

Жизненные формы растений в зависимости от продолжительности сукцессии
Life forms of plants depending on duration of succession

Жизненная форма / Life forms	34–49 лет / 34–49 years		24–33 года / 24–33 years		14–23 года / 14–23 years	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Фанерофиты / Phanerophytes	4	6,45	2	3,77	0	0,00
Хамефиты / Chamephytes	5	8,06	4	7,55	2	10,53
Геофиты / Geophytes	3	4,84	2	3,77	0	0,00
Гемикриптофиты / Hemicryptophytes	35	56,45	29	54,72	8	42,10
Терофиты / Terophytes	15	24,20	16	30,19	9	47,37
Видовое богатство / Species richness	62	100,00	53	100,00	19	100,00

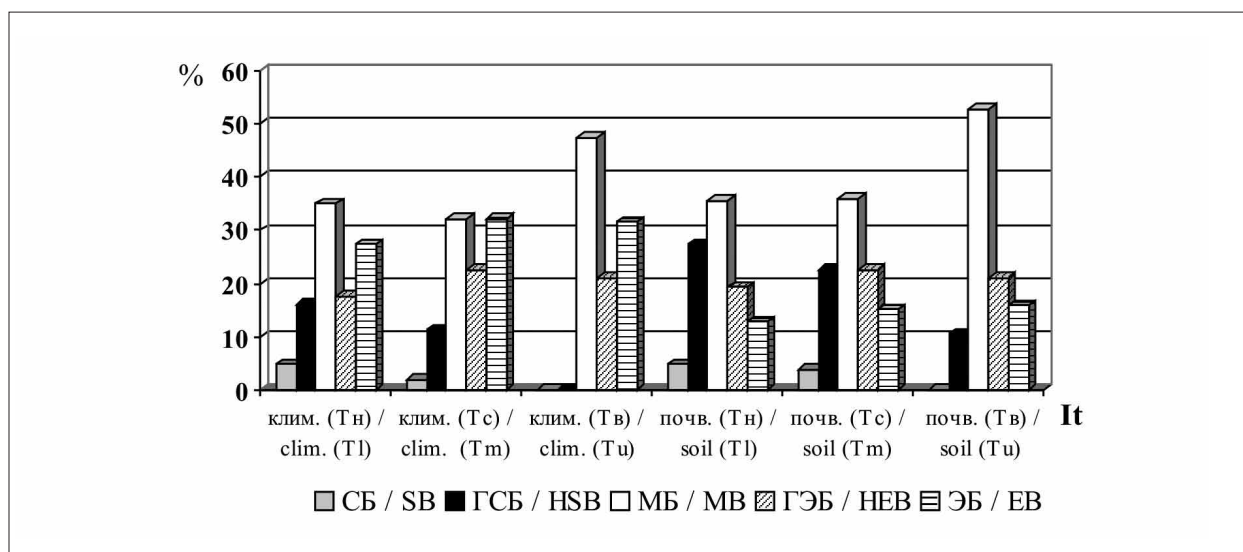


Рис. 2. Распределение экоморф по значениям коэффициентов толерантности (It клим., It почв.) в растительных сообществах на разных уровнях террас: СБ – стенобионты, ГСБ – гемистенобионты, МБ – мезобионты, ГЭБ – гемиеврибионты, ЭБ – эврибионты

Fig. 2. Distribution of ecomorphs by values of tolerance coefficients (It clim., It soil) in plant communities at different levels of terraces: SB – stenobionts, HSB – hemistenobionts, MB – mesobionts, HEB – hemieurybionts, EB – eurybionts

жизненного потенциала зональных видов в условиях высокой токсичности субстрата и, как следствие, слабой всхожестью семян и/или потерей способности к их образованию.

Инициальные стадии восстановления растительного покрова сформированы преимущественно гемикриптофитами и терофитами. С увеличением продолжительности сукцессии доля терофитов снижается на 23,17%, хамефитов – на 2,5%, гемикриптофитов и фанерофитов возрастает соответственно на 14,3 и 6,45% (табл. 1).

Флора фонового участка и пионерных сообществ террас представлена 17 геоэлементами. Обширные ареалы (плюрирегиональный, голарктический и палеарктический) имеет более трети видов (34,95%). Наиболее широко в растительном покрове участвуют виды палеарктического, кавказского и южно-сибирского геоэлементов (соответственно 26,52; 21,70

и 14,47%). В растительных сообществах Тв и Тс возрастает участие видов с широкой экологической амплитудой (соответственно 46,67 и 42,31%) по сравнению с более благоприятными условиями Тн (35,49%). В пионерных сообществах Тс и Тв отмечено обеднение географического спектра видов, представленного соответственно 13 и 8 геоэлементами.

В сукцессионном возрастном ряду наибольшее распространение на всех этапах сукцессии имеют мезобионтные и гемиеврибионтные виды. В ходе сукцессии доля экоморф возрастает в ряду ЭБ → ГЭБ → МБ → ГСБ → СБ (рис. 2).

Связь между индексами толерантности и проективным покрытием умеренная ($r = 0,32$). Доля видов с отклонением режимов экологических факторов от комфортных увеличивается в возрастном сукцессионном ряду до 42,0–45,3% (рис. 3).

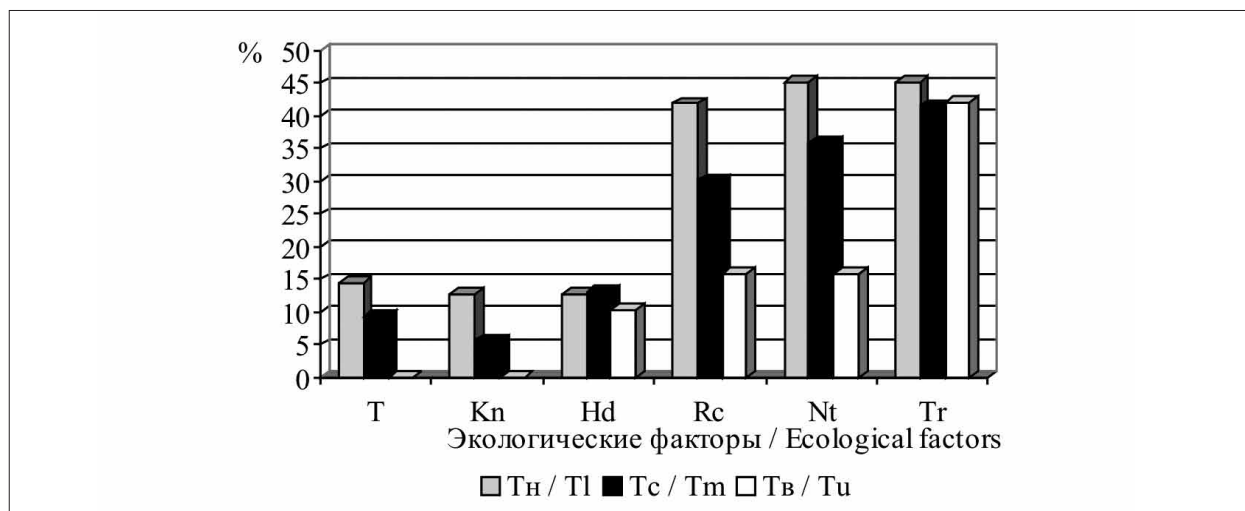


Рис. 3. Доля видов с отклонением режимов экологических факторов от комфортных: Tm – термический режим, Kn – континентальность, Hd – увлажнение почв, Rc – кислотность почв, Nt – азотообеспеченность почв, Tr – солевой режим почв
Fig. 3. The share of types with a rejection of the regimes of ecological factors from the comfort: T – thermal regime Kn – continentality, Hd – soil moisture, Rc – soil acidity, Nt – soils of the nitrogen, Tr – salt regime of soils

Таблица 2 / Table 2

Содержание в растении (С, мкг/г сухого вещества), биологическое накопление (КБН) и транслокация (КТ) тяжёлых металлов в надземной (н) и подземной (п) фитомассе*
 Content in a plant (C, μg/g dry matter), biological accumulation (CBA) and translocation (CT) of heavy metals in the elevated (e) and underground (u) phytomass*

Показатели / Indicators	<i>Ephedra procera</i>	<i>Phleum phleoides</i>	<i>Melilotus officinalis</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Inula britannica</i>	<i>Inula germanica</i>	
Mo	Сн / Се	1,12±0,12	37,94±4,01	74,08±7,83	43,66±4,62	17,12±1,81	29,11±3,08
	Сп / Су	3,46±0,30	54,72±4,73	118,47±10,25	74,46±6,44	110,87±9,59	132,56±11,47
	КТ / СТ	1,55	1,44	1,60	1,71	6,48	4,55
	КБН / CBN	<u>0,01</u> 0,04	<u>0,46</u> 0,67	<u>0,90</u> 1,44	<u>0,53</u> 0,91	<u>0,21</u> 1,35	<u>0,35</u> 1,62
Pb	Сн / Се	0,34±0,11	3,17±1,00	0,16±0,05	2,12±0,05	0,58±0,16	0,93±0,18
	Сп / Су	0,71±0,15	4,35±0,91	0,94±0,20	3,52±0,54	0,71±0,14	1,43±0,30
	КТ / СТ	2,09	1,37	5,87	1,66	1,22	1,54
	КБН / CBN	<u>0,02</u> 0,04	<u>0,19</u> 0,26	<u>0,01</u> 0,05	<u>0,12</u> 0,21	<u>0,03</u> 0,07	<u>0,05</u> 0,08
Zn	Сн / Се	1,49±0,46	5,43±1,67	1,18±0,36	6,21±1,91	18,07±4,56	14,32±3,41
	Сп / Су	3,56±0,82	8,13±1,88	4,52±1,04	9,78±2,56	20,63±4,76	18,45±4,25
	КТ / СТ	2,39	1,50	3,83	1,57	1,14	1,29
	КБН / CBN	<u>0,01</u> 0,03	<u>0,05</u> 0,07	<u>0,01</u> 0,04	<u>0,05</u> 0,08	<u>0,16</u> 0,18	<u>0,12</u> 0,16

*Примечание: Среднее валовое содержание в субстрате Mo – 82; Pb – 17; Zn – 115 мкг/г сухого вещества. В числителе КБН надземной фитомассы, в знаменателе – КБН подземной фитомассы.

*Note: Average gross content in substrate Mo – 82; Pb – 17; Zn – 115 μg/g dry matter. In the numerator, CBA elevated phytomass, in the denominator – CBA underground phytomass.

Наибольшее отклонение от комфортных условий на всех уровнях террас отмечено по эдафическим факторам (Nt, Tr, Rc). Виды с отсутствием отклонений от экологических режимов (*Artemisia scoparia* Waldst., *Cichorium intybus* L., *Taraxacum officinale* F.H. Wigg.,

Inula britannica L., *I. germanica* L., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Plantago major* L., *P. media* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Scabiosa bipinnata* K. Koch, *Ephedra procera* Fisch. et Mey., *Echium vulgare* L.) отмечены в растительных

сообществах Тс и Тв. Анализ значений КБН и КТ этих видов свидетельствует об устойчивости к повышенным концентрациям Мо, Рb и Zn, связанной с накоплением тяжёлых металлов преимущественно подземной фитомассой (табл. 2).

В соответствии с поливариантной моделью первичной сукцессии [18] на Тв продолжается первый этап пионерной сукцессии. Состояние растительного покрова Тс соответствует переходной «злаковой» стадии, а Тн – переходной «кустарниковой» стадии второго этапа пионерной сукцессии. В целом, протекание пионерной сукцессии на токсичном субстрате соответствует комбинированной S-R-модели организации растительных сообществ с участием пациентов экстремальных условий, формированием сегетальных и рудеральных группировок. Переход к C-R-S-модели на старовозрастных террасах сдерживается высокой токсичностью хемозёма.

Заключение

По результатам мониторинга растительного покрова хвостохранилища ТВМК установлено, что зарастание дамбы протекает по типу первичной сукцессии, направленной на постепенное замещение рудеральных растений видами естественной флоры и увеличение видового разнообразия. С возрастанием продолжительности сукцессии отмечены изменения в доминирующих жизненных формах, снижение доли видов с широкими ареалами, возрастание численности гемиеврибионтов и мезобионтов. Виды с отсутствием отклонений от экологических режимов, произрастающие в экотопах молодых и средневозрастных террас, характеризуются индифферентностью к химическому загрязнению среды обитания и являются перспективными для фиторемедиации.

Литература

1. Rehounkova K., Prach K. Spontaneous vegetation succession in disused gravel-sand pits: Role of local site and landscape factors // *Journal of Vegetation Science*. 2006. V. 17. No. 36. P. 583–590.
2. Корзников К.А. Сосудистые растения спонтанно зарастающих участков разработки россыпного месторождения золота (р. Лангери, Центральный Сахалин) // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2016. № 4 (36). С. 62–78.
3. Гусев А.П. Оценка потенциала самовосстановления растительности в техногенных ландшафтах (на

примере юго-востока Беларуси) // *Российский журнал прикладной экологии*. 2015. № 3. С. 8–12.

4. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // *Сибирский лесной журнал*. 2016. № 2. С. 51–58.
5. Залиханов М.Ч., Коломыц Э.Г., Шарая Л.С., Цепкова Н.Л., Сурова Н.А. Высокогорная экология в моделях. М.: Наука, 2010. 487 с.
6. Reid N.B., Naeth M.A. Establishment of a vegetation cover on tundra kimberlite mine tailings: 1. A greenhouse study // *Restoration Ecology*. 2005. V. 13. No. 4. P. 594–601.
7. Ersan H. Maden sahaları rehabilitasyon yöntemleri // *Orman Mühendisliği*. 2014. V. 51. No. 1–3. P. 29–37.
8. Meagher R.B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants // *Current Opinion in Plant Biology*. 2000. No. 3 (2). P. 153–162.
9. Baker A.J.M., Brooks R.R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry // *Biorecovery*. 1989. No. 1 (2). P. 81–126.
10. Kochian L.V., Pence N.S., Letham D.L.D., Pineros M.A., Magalhaes J.V., Hoekenga O.A., Garvin D.F. Mechanisms of metal resistance in plants: aluminum and heavy metals // *Plant and Soil*. 2002. V. 247. P. 109–119.
11. Assunção A.G.L., Schat H., Aarts M. *Thlaspi caerulescens*, an attractive model to study heavy metal hyperaccumulation in plants // *New Phytologist*. 2003. V. 159. No. 2. P. 351–360.
12. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Винокуров С.Ф., Карамурзов Б.С., Газеев В.М., Лексин А.Б., Шевченко А.В., Долов С.М., Дударов Э.И. Геохимическая оценка экологической обстановки в районе деятельности Тырнаузского вольфрамо-молибденового комбината (Кабардино-Балкарская Республика, Северный Кавказ): источники загрязнения окружающей среды, влияние на состояние территории и меры по реабилитации // *Доклады Академии наук*. 2015. Т. 464. № 3. С. 328–333.
13. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 198 с.
14. Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth V., Werner W., Paulsen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa // *Scripta Geobotanica*. 1991. V. 18. 248 p.
15. Landolt E. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora // *Veroff. Geobot. Inst. der Eidgen. Techn. Hochschule in Zurich*. 1977. V. 64. P. 1–208.
16. Шхагапсоев С.Х. Растительный покров Кабардино-Балкарии. Нальчик: Тетраграф, 2015. 352 с.
17. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя-2000, 1999. 341 с.
18. Сумина О.И. Первичные сукцессии на карьерах как натурная модель для изучения процессов формирования наземных экосистем // *Теоретическая и прикладная экология*. 2014. № 1. С. 40–44.

References

1. Rehounkova K., Prach K. Spontaneous vegetation succession in disused gravel-sand pits: Role of local site and landscape factors // *Journal of Vegetation Science*. 2006. V. 17. No. 36. P. 583–590. doi: 10.1111/j.1654-1103.2006.tb02482.x
2. Korznikov K.A. Spontaneous revegetation of post-mining areas (the Langeri River placer gold deposit, Central Sakhalin, Russia) // *Tomsk State University Journal of Biology*. 2016. No. 4 (36). P. 62–78 (in Russian).
3. Gusev A.P. Assessment of vegetation self-restoration potential in technogenic landscapes (on the example of the southeast of the Republic of Belarus) // *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2015. No. 3. P. 8–12 (in Russian).
4. Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A. Regularities of restoration of plant cover on the dumps of the Kuznetsk basin // *Siberian Journal of Forest Science*. 2016. No. 2. P. 51–58 (in Russian).
5. Zalikhanov M.Ch., Kolomyts E.G., Sharaya L.S., Tsepkova N.L., Surova N.A. High mountain geocology in models. Moskva: Nauka, 2010. 487 p. (in Russian).
6. Reid N.B., Naeth M.A. Establishment of a vegetation cover on tundra kimberlite mine tailings: 1. A greenhouse study // *Restoration Ecology*. 2005. V. 13. No. 4. P. 594–601.
7. Ersan H. Rehabilitation methods in mining sites // *Forest Engineering*. 2014. V. 51. No. 1–3. P. 29–37 (in Turkish).
8. Meagher R.B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants // *Current Opinion in Plant Biology*. 2000. No. 3 (2). P. 153–162. doi: 10.1016/S13695266(99)00054-0.
9. Baker A.J.M., Brooks R.R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry // *Biorecovery*. 1989. No. 1 (2). P. 81–126.
10. Kochian L.V., Pence N.S., Letham D.L.D., Pineros M.A., Magalhaes J.V., Hoekenga O.A., Garvin D.F. Mechanisms of metal resistance in plants: aluminum and heavy metals // *Plant and Soil*. 2002. V. 247. P. 109–119. doi: 10.1023/A:1021141212073
11. Assunção A.G.L., Schat H., Aarts M. *Thlaspi caerulescens*, an attractive model to study heavy metal hyperaccumulation in plants // *New Phytologist*. 2003. V. 159. No. 2. P. 351–360. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00820.x
12. Gurbanov A.G., Bogatkov O.A., Vinokurov S.F., Karamurзов B.S., Gazeyev V.M., Leksin A.B., Shevchenko A.V., Dolov S.M., Dudarov Z.I. Geochemical assessment of an ecological situation around activity of Tyrnyauz tungsten-molybdenum combine (Kabardino-Balkar Republic, the North Caucasus): sources of environmental pollution, influence on a condition of the territory and measure for rehabilitation // *Doklady Akademii nauk*. 2015. V. 464. No. 3. P. 328–333 (in Russian).
13. Tsyganov D.N. Phytointication of the ecological modes in a subband of the coniferous and broad-leaved woods. Moskva: Nauka, 1983. 198 p. (in Russian).
14. Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth V., Werner W., Paulsen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa // *Scripta Geobotanica*. 1991. V. 18. 248 p. (in German).
15. Landolt E. Ecological pointer values for Swiss flora // *Veroff. Geobot. Inst. Of the Eidgen. University of Technology in Zurich*. 1977. V. 64. P. 1–208 (in German).
16. Shkhagapsoyev S.Kh. Vegetable cover of Kabardino-Balkaria. Nalchik: OOO “Tetragraf”, 2015. 352 p. (in Russian).
17. Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of landscapes. Moskva: Astreya-2000, 1999. 341 p. (in Russian).
18. Sumina O.I. Primary successions on pits as natural model for studying of processes of formation of land ecosystems // *Theoretical and Applied Ecology*. 2014. No. 1. P. 40–44. doi: 10.25750/1995-4301-2014-1-040-044 (in Russian).