

**Радионуклиды и тяжелые металлы в системе  
“радиоактивные отвалы – грунт – растение” и их влияние  
на семенное потомство ольховника кустарникового  
(*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar)**

А. Н. ЖУРАВСКАЯ, С. Ю. АРТАМОНОВА\*, Г. В. ФИЛИППОВА

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН  
677890, Якутск, просп. Ленина, 41  
E-mail: jan43@mail.ru*

*\* Институт геологии и минералогии СО РАН  
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3*

**АННОТАЦИЯ**

Представлены результаты мониторинговых исследований шахтных отвалов в районе уранового месторождения Южной Якутии. Комплексное применение биологических, био- и геохимических методов позволило выявить массоперенос радионуклидов и тяжелых металлов в системе “радиоактивные отвалы – грунт – растение” и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar).

**Ключевые слова:** радионуклиды, тяжелые металлы, коэффициент перехода, низкомолекулярные и ферментативные антиоксиданты, всхожесть семян, выживаемость проростков.

В Южной Якутии в пределах Эльконского горста находится крупнейшее в России месторождение урана. Разработка этого месторождения актуальна и жизненно необходима для обеспечения потребностей атомной отрасли в природном уране. В 60-х гг. XX в. при геологоразведочных работах образовались отвалы радиоактивных пород. По окончании горные выработки (штольни, шахты) замуровали, а радиоактивные песчано-щебнистые отвалы оставили, не проведя каких-либо защитных мероприятий. Отвалы состоят из вмещающих пород и золотоурановых руд, извлеченных из штолен и шахт. Отвалы не подвергались антропогенным преобразованиям, а содержащиеся в них естественные радиоактивные элементы и элементы тяже-

лых металлов перераспределялись в пределах отвала и мигрировали за его пределы под действием природных факторов. В настоящее время на этой территории ведутся подготовительные работы по строительству Эльконского горно-металлургического комбината, в ходе эксплуатации которого предполагается осуществление мониторинга состояния окружающей среды. До начала масштабных работ осуществляются экологические изыскания по определению фонового состояния среды (водных ресурсов, почвы, растительного и животного мира и др.), позволяющие сделать вывод, что реализация проекта не окажет отрицательного воздействия на биоту [1].

Цель работы – выявление массопереноса радионуклидов и тяжелых металлов в систе-

ме “радиоактивные отвалы – грунт – растение” и их влияние на семенное потомство ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar).

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эльконский горст представляет собой выступ кристаллических пород. Площадь распространения отвалов растянута в виде полосы шириной 12 км с северо-запада на юго-восток на 25 км (месторождение “Южное”). Основной урановый минерал – браннерит (титанат урана –  $UTi_2O_6$ ). Климат территории резко континентальный с холодной зимой и коротким жарким летом, амплитуда температур достигает 85 °С. Среднегодовое количество осадков 634 мм, большая их часть выпадает обычно в августе и сентябре в виде продолжительных дождей [2].

Исследовали ольховник кустарниковый *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar – летне-зеленый листопадный древесный кустарник до 4 м высоты. Его цветение происходит весной, из оплодотворенных пестичных цветков развиваются соцветия, похожие на шишечки, которые сначала зеленеют, а к осени чернеют. Семена – буроватые узкокрылые орешки, обладающие высокой лабораторной всхожестью (до 100 %). Растет в хвойных и смешанных лесах, на горяч, вырубках, болотах, по берегам рек, на каменистых луговых склонах и россыпях практически во всех районах Якутии. Растение образует доминирующие заросли в исследованном нами районе в условиях различных мощностей экспозиционных доз [3].

На первоначальном этапе работ на всех выбранных объектах (законсервированных шахтах и отвалах) и за их пределами проведена маршрутная  $\gamma$ -съемка с использованием радиометра СРП-68-01. Измерение мощности экспозиционной дозы (МЭД)  $\gamma$ -излучения проводили на высоте 1 м от излучающей поверхности. Оценка величины мощности экспозиционной дозы (МЭД)  $\gamma$ -излучения производилась по среднеарифметическому значению 3–5 измерений в каждой точке обследования.

Сбор листьев одного яруса проводили не менее чем с 10 деревьев одного возраста.

Сушили в тени, в матерчатых мешках, не загрязняя другие пробы. Собирали также смесь соцветий (шишечек) не менее чем с 10 однолетних деревьев на каждом ключевом участке общим весом ~ 200 г. Затем их сушили в тени под навесом в матерчатых мешочках. После вручную обмолачивали и хранили в условиях бытового холодильника.

На площадке компактного произрастания ольховника кустарникового в однородной по мощности экспозиционной дозе природного фона делали четыре закопушки глубиной не менее 30 см. Из каждой выбирали грунт (около 2 кг). На полиэтиленовой пленке пробы перемешивали, проводили последовательное квартование пробы до получения навески: для природной площадки с фоновой МЭД от 20 до 100 мкР/ч – 250 г; свыше 100 мкР/ч – 100 г. Пробоотбор проведен по стандартным методам [4].

Воздушно-сухие семена проращивали при комнатной температуре в чашках Петри на фильтрах в четырех повторностях, по 50 шт. в каждой. Всхожесть семян (%) определяли на 14-й день, а выживаемость проростков – на 30-й день наблюдения.

Определение активности супероксиддисмутазы (СОД) основано на инактивации супероксидрадикала ( $*O_2^-$ ) этим ферментом. Чем больше активность СОД, тем меньше образуется восстановленного тетранитротетразолиевого синего (восстановленного NBT или бисформазана) [5].

Метод определения суммы антиоксидантов основан на окислении антиоксидантов хлоридом железа (III). При этом хлорид железа (III) восстанавливается до хлорида железа (II), количество которого определяется по интенсивности окраски при добавлении о-фенантролина. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре DU-650 фирмы ВЕСКМАН при длине волны 510 нм. При этом разведение анализируемой пробы подбирали таким образом, чтобы измеряемая величина оптической плотности находилась в интервале от 0,6 до 1,3 ед. D [6].

Прямую высокоразрешающую полупроводниковую  $\gamma$ -спектрометрию с коаксиальными и планарными полупроводниковыми детекторами (ППД) применяли для определения  $\gamma$ -излучающих радиоизотопов ураново-

го и ториевого рядов. Метод прямой полупроводниковой  $\gamma$ -спектрометрии реализован на базе колодезного коаксиального HPGe ППД с низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA фирмы EURISYS MEASURES (Франция) [7].

Рентгено-флуоресцентный анализ на синхротронном излучении (РФА-СИ) проводили на элементной станции ВЭПП-3 Института ядерной физики СО РАН и использовали для определения концентрации тяжелых металлов в грунтах, почвах и тканях растений. При режиме первичной монохроматизированной энергии 23 KeV определяли содержание Mn, Zn, Cu, при режиме 36,5 KeV – содержание Cd. Пробы растительности предварительно концентрировались путем озоления в щадящем режиме (медленное нагревание до 350 °С в течение 2 ч) для сохранения легколетучих компонентов (коэффициентов концентрации около 10). В качестве внешних стандартных образцов для почв использованы международный стандарт почвы SOIL-7 МАГАТЭ, стандарт СГХМ-4 (Россия), а для ольховника кустарникового – российский стандарт злаковой травосмеси СБМТ-02 № 3170-85 и зольный остаток этой травосмеси ЗСБМТ-02 № 3170-85. Относительное стандартное отклонение  $S_r$  результатов определения элементного состава проб руд, почв и тканей растительности соответствует точности результатов ОСТ 41-08-212-82 и рекомендациям НСАМ – не более 10–15 %, нижние пределы обнаружения элементов – до 0,1 ppm, г/т [7].

При определении биохимических параметров статистический разброс определяли путем введения 1–5%-й ошибки на метод. Достоверность среднеарифметических результатов оценивали по среднеквадратической ошибке [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате пешеходного маршрута и радиометрической съемки отобраны пробы в 9 точках, характеристика которых представлена в табл. 1. Пробы 1, 2 и 3 взяты вдоль дороги, на расстоянии 20 км от шахт. Пробы 4, 5 и 6 – на территории шахты № 2; 7, 8 и 9 – на территории шахты № 3 месторождения “Южное”. Высота места отбора колеба-

лась от 503 до 700 м. В этих точках отбора собраны семена и листья ольховника кустарникового и пробы грунта.

В точках 1, 2 и 3 МЭД естественного радиационного  $\gamma$ -фона был в пределах нормы (от 10 до 20 мкР/ч), поэтому эти точки отбора использовали в качестве контрольных, для анализа полученных результатов применяли их среднее значение. Содержание  $\gamma$ -излучающих радионуклидов уранового и ториевого рядов, а также концентрация тяжелых металлов (Mn, Zn, Cu, Cd) в пробах грунта из данных точек отбора не превышали ПДК (табл. 2 и 3).

Известно, что марганец способствует ускорению процессов роста и развития растений, накоплению и передвижению ассимилятов, повышению активности ферментативных систем и процессов синтеза некоторых физиологически активных веществ [9]. Избыточной пороговой концентрацией элемента для кормов по В. В. Ковальскому [10] является диапазон 60–70 г/т и выше, что согласуется с полученными результатами для ольховника кустарникового из контрольных точек. Так, в воздушно-сухих листьях в точке отбора ДЗ-20 при концентрации марганца 74,0 г/т, что немного выше избыточной пороговой концентрации, наблюдались максимальные содержание НМАО ( $6,8 \text{ мкгэкв}_{\text{кверц}}/\text{г}_{\text{тк}}$ ) и активность СОД ( $3,3 \text{ мкмоль}/(\text{г}_{\text{тк}} \text{ мин})$ ; табл. 4). По-видимому, незначительное превышение избыточного порога активировало антиоксидантную систему (АОС). Увеличение содержания Mn до 81,3 г/т (точка Д2-13) и высокий (для этой популяции) коэффициент перехода, наоборот, привели к снижению содержания НМАО до  $3,2 \text{ мкгэкв}_{\text{кверц}}/\text{г}_{\text{тк}}$  и активности СОД до  $1,4 \text{ мкмоль}/(\text{г}_{\text{тк}} \text{ мин})$ . При минимальной концентрации этого элемента АОС имели наименьшие численные значения.

Такие элементы, как медь и цинк, отвечают за процессы репродукции растительных организмов [11]. Концентрация этих элементов в пробах листьев контрольных участков в пределах нормы. Выявлено, что при низких концентрациях Cu и Zn такие физиологические показатели, как всхожесть и выживаемость семенного потомства ольховника кустарникового, имеют минимальные значения (точка Д1-10), и наоборот (точки Д2-13 и ДЗ-20; см. табл. 3 и рис.1, А).

Т а б л и ц а 1

## Характеристика мест отбора проб

№ п/п	Шифр пробы: место сбора*-γ-фон, мкР/ч	Высота места, м	Описание места отбора проб
1	Д1-10	550	Обочина дороги, 6 км от пос. Заречный. Растительность представлена листовнично-брусничным сообществом. По краю дороги – заросли ольховника кустарникового. На каменистых осыпях произрастают различные виды мхов и лишайников. Почва щебнисто-каменистая, гумусный слой – до 5 см
2	Д2-13	540	Обочина дороги, 9 км от пос. Заречный. То же
3	Д3-20	506	1 км по дороге от пос. Заречный при впадении ручья Дрожжевой. Обочина дороги заболочена. Растительность представлена зарослями чозении, вдоль обочины дороги – ольховник кустарниковый. Почва щебнисто-каменистая, гумусный слой – до 5 см
4	Ш2-100	695	Середина отвала шахты № 2. Растительность представлена редкими зарослями ольховника кустарникового. Почва щебнисто-каменистая, гумусный слой – до 3 см
5	Ш2-200	700	То же
6	Ш2-750	693	Начало отвала шахты № 2. Растительность представлена зарослями ольховника кустарникового. Почва щебнисто-каменистая, гумусный слой – до 3 см
7	Ш3-20	639	Дорога у ручья Акин, в удалении от отвала шахты № 3 на расстоянии 1 км. Растительность представлена зарослями ольховника кустарникового, пихты, листовницы, чозении. На каменистых осыпях произрастают различные виды мхов и лишайников. Почва щебнисто-каменистая, гумусный слой – до 10 см
8	Ш3-50	688	Дорога у ручья Акин, в удалении от отвала шахты № 3 на расстоянии 0,5 км. Растительность представлена зарослями ольховника кустарникового, пихты, листовницы, чозении. На каменистых осыпях произрастают различные виды мхов и лишайников. Почва щебнисто-каменистая, гумусный слой – до 10 см
9	Ш3-400	705	Подножие отвала шахты № 3. Растительность представлена зарослями ольховника кустарникового и березы растопыренной. На каменистых осыпях произрастают накипные лишайники. Почва торфяная, гумусный слой – до 20 см

\*– Д – дорога; Ш2 – шахта № 2; Ш3 – шахта № 3.

Т а б л и ц а 2

## Содержание урана и тория в грунте (г/т) и коэффициент их перехода (Кп) в листья ольховника кустарникового

Шифр пробы	Уран			Торий		
	Грунт	Лист	Кп	Грунт	Лист	Кп
<i>Контроль</i>						
Д1-10	2,3 ± 0,02	0	0	1,2 ± 0,01	0	0
Д2-13	2,2 ± 0,02	0	0	2,0 ± 0,02	0	0
Д3-20	1,2 ± 0,01	0	0	0	0	0
Среднее значение	1,9 ± 0,02	0	0	1,1 ± 0,01	0	0
ПДК	до 10	–	–	до 0,05	–	–
<i>Шахта № 2</i>						
Ш2-100	40,0 ± 0,40	1,0 ± 0,01	0,03	9,0 ± 0,09	0,9 ± 0,01	0,1
Ш2-200	128,0 ± 1,30	3,7 ± 0,04	0,03	7,4 ± 0,07	1,1 ± 0,01	0,1
Ш2-750	696,0 ± 7,00	17,6 ± 1,20	0,03	15,8 ± 0,20	3,4 ± 0,03	0,2
<i>Шахта № 3</i>						
Ш3-20	13,5 ± 0,13	0	0	6,2 ± 0,06	0,7 ± 0,01	0,1
Ш3-50	27,0 ± 0,27	0,8 ± 0,01	0,03	3,6 ± 0,04	1,3 ± 0,01	0,4
Ш3-400	237,0 ± 2,37	5,0 ± 0,05	0,02	14,0 ± 0,14	1,0 ± 0,01	0,7

На территории шахты № 2 МЭД естественного радиационного  $\gamma$ -фона варьировала от 100 до 750 мкР/ч. В пробах грунта отвалов шахты № 2 зафиксировано самое высокое содержание радионуклидов урана и тория, превышающее ПДК в 4,0 ÷ 69,6 и 180 ÷ 316 раз соответственно (см. табл. 2). Содержание тяжелых металлов в пробах составляло, г/т: Zn – от 54 до 142, Cu – от 30 до 50 и Cd – от 0,23 до 0,58 (см. табл. 3).

Считается, что один из факторов, определяющих величину перехода химического элемента в растение, – его исходное валовое содержание в почве. Как показали наши исследования, такая зависимость характерна только для урана: при увеличении содержания урана в грунте концентрация элемента в воздушно-сухих листьях также увеличивается ( $r = 0,99$ ; см. табл. 2). При этом величина коэффициента перехода (отношение содержания элемента в растении к концентрации его в почве, Кп) урана в трех точках отбора проб не превысила величины 0,03 (см. табл. 2). Это согласуется с тем, что данный элемент считается металлом слабого биологического поглощения [12].

С повышением МЭД  $\gamma$ -фона произрастания ольховника кустарникового суммарная концентрация в листьях таких элементов, как Cu и Zn, линейно снижалась ( $r = -0,99$ ; см. рис. 1, Б).

Известно, что при недостатке цинка возрастает концентрация кадмия, так как место цинка в биологических системах занимает кадмий как элемент, близкий по химической природе [13]. Это согласуется с полученными нами результатами: в условиях естественного повышенного радиационного фона в сухих листьях при снижении концентрации цинка и меди увеличиваются концентрации кадмия и тория. Причем всхожесть и выживаемость семенного потомства ольховника кустарникового имеют прямую зависимость от концентрации кадмия ( $r = 0,98$ ; рис. 2, А) и тория в вегетативных частях материнских растений ( $r = 0,97$ ; рис. 3). Вероятно, данные концентрации не вызывают токсического эффекта, а наоборот, являются стимулирующими.

На шахте № 3 МЭД естественного радиационного  $\gamma$ -фона варьировала от 20 до 400 мкР/ч. Содержание радионуклидов урана в пробах

Т а б л и ц а 3  
Содержание тяжелых металлов в грунте (г/т) и коэффициент их перехода (Кп) в листья ольховника кустарникового

Шифр пробы	Марганец			Цинк			Медь			Кадмий		
	Грунт	Лист	Кп	Грунт	Лист	Кп	Грунт	Лист	Кп	Грунт	Лист	Кп
Д1-10	78,0	14,0	0,18	83,0	24,0	0,29	42,0	10,5	0,25	0,31	0,027	0,09
Д2-13	187,0	81,3	0,43	78,0	48,5	0,62	40,0	12,6	0,32	0,34	0,038	0,11
Д3-20	190,0	74,0	0,39	62,0	46,0	0,74	24,0	11,4	0,48	0,17	0,030	0,18
Среднее значение	151,7	56,4	0,37	74,3	39,5	0,53	35,3	11,5	0,33	0,27	0,032	0,12
ПДК	До 1500	70*	50*	До 300	50*	20*	До 100	20*	До 3	До 3	0,05*	
<i>Контроль</i>												
<i>Шахта № 2</i>												
ПШ-100	74,0	20,2	0,27	142,0	70,8	0,50	38,0	13,4	0,35	0,58	0,038	0,07
ПШ-200	71,0	61,8	0,87	54,0	50,3	0,93	30,0	14,2	0,47	0,23	0,045	0,20
ПШ-750	55,0	15,5	0,28	68,0	37,8	0,56	50,0	9,6	0,19	0,27	0,053	0,20
<i>Шахта № 3</i>												
ПШ-20	66,0	8,7	0,13	56,0	46,7	0,83	28,0	22,0	0,78	0,31	0,123	0,40
ПШ-50	69,0	14,3	0,20	63,0	30,1	0,48	37,0	11,0	0,30	0,57	0,148	0,26
ПШ-400	76,0	50,5	0,66	50,0	31,2	0,62	33,0	7,9	0,24	0,26	0,111	0,43

\*Среднее содержание элементов в травах, произрастающих на незагрязненных территориях [10].

Содержание низкомолекулярных антиоксидантов, активность супероксиддисмутазы в листьях ольхи кустарниковой

Шифр пробы	НМАО, мкгЭКВ <sub>кверц</sub> /г <sub>тк</sub>	СОД, мкмоль/(г <sub>тк</sub> мин)
<i>Контроль</i>		
Д1-10	1,0 ± 0,01	1,3 ± 0,01
Д2-13	3,2 ± 0,03	1,4 ± 0,01
Д3-20	6,8 ± 0,07	3,3 ± 0,03
<i>Шахта № 2</i>		
Ш2-100	5,0 ± 0,05	2,4 ± 0,02
Ш2-200	1,7 ± 0,02	1,1 ± 0,01
Ш2-750	3,4 ± 0,03	3,7 ± 0,04
<i>Шахта № 3</i>		
Ш3-20	4,9 ± 0,05	0,4 ± 0,01
Ш3-50	0,7 ± 0,01	1,0 ± 0,01
Ш3-400	2,0 ± 0,02	1,8 ± 0,02

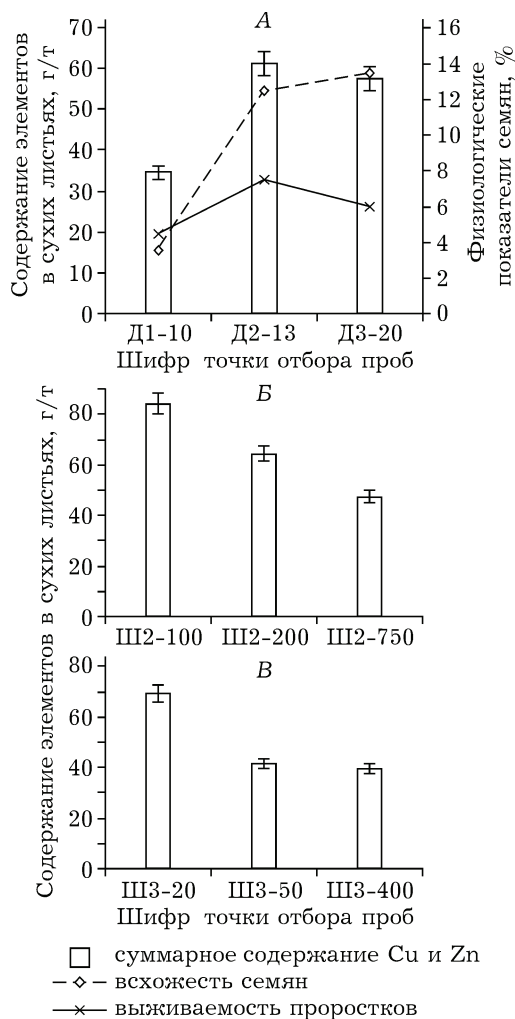


Рис. 1. Суммарное содержание меди и цинка в сухих листьях ольховника кустарникового и физиологические характеристики его семенного потомства

грунта превышало ПДК в 1,3 ÷ 23,7 и тория в 72,0 ÷ 280,0 раз (см. табл. 2). Концентрация тяжелых металлов в пробах грунта составляла, г/т: Zn – от 50 до 63, Cu – от 28 до 37 и Cd – от 0,31 до 0,57 (см. табл. 3).

Суммарное содержание Cu и Zn в сухих листьях ольховника кустарникового, как и в пробах шахты № 2, с повышением МЭД  $\gamma$ -фона произрастания имеет тенденцию к снижению ( $r = -0,61$ ; см. рис. 1, В). А показатели всхожести и выживаемости семенного потомства ольховника кустарникового с увеличением концентрации кадмия понижаются ( $r = -0,96$ ; см. рис. 2, Б). Прямой корреляции физиологических показателей семенного потомства с содержанием тория в тканях растений в данном случае не выявлено. По-видимому, существенное снижение репродукции растительных организмов в условиях произрастания на территории шахты № 3 обусловлено в первую очередь значительным включением в биологические системы кадмия. Концентрация кадмия в листьях составляла от 0,111 до 0,148 г/т, что превышало контроль в 2,9–3,9 раза (см. табл. 3). Кроме того, для данной популяции выявлен высокий Кп этого элемента в ткани растений, соответственно токсичность кадмия в биологических системах возрастает. Так, семенное потомство материнских растений с самым высоким содержанием кадмия в пробах листьев (точка Ш3-50) оказалось нежизнеспособным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, радиометрическая съемка, лабораторные и полевые исследования по изучению содержания радионуклидов в материале отвалов и компонентах среды (почвах и тканях растительности) позволили выяснить, что отвалы являются радиационными производственными отходами II–III категории опасности – источниками загрязнения природной среды [15]. Зафиксировано высокое содержание радионуклидов урана и тория в почвах отвалов шахт месторождения “Южное”, превышающее ПДК в  $1,3 \div 69,6$  и  $72,0 \div 316$  раз соответственно. Установлено, что исходное валовое содержание урана в почве определяет величину химического элемента в тканях растительных организмов, при этом величина коэффициента перехода из грунта в листья растений не меняется. По-видимому, репродуктивная способность растительных организмов в условиях повышенного радиационного фона обуславливается недостатком в биологических системах цинка и замещением его кадмием. Токсическое воздействие кадмия проявляется при высоком содержании элемента в растительных тканях и, как следствие, в снижении жизнеспособности семенного потомства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Декларация о намерениях компании ОАО “Атомредметзолото” в освоении урановых месторождений рудного поля. ГУП РС(Я) “Алданская типография”, 2008. 8 с.
2. Казанский В. И. Уникальный Центрально-Алданский золото-урановый рудный район (Россия) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46, № 3. С. 195–211.
3. Андреев В. Н., Галактионова Т. Ф., Горовой П. Г., Караваев М. Н., Леонова Т. Г., Липшиц С. Ю., Михалева В. М., Пермякова А. А., Перфильева В. И., Скворцов А. К., Толмачев А. И., Чугунова Р. Н. Определитель высших растений Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. 544 с.
4. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / под ред. Н. Г. Зырина, С. Г. Малахова. М.: Гидрометеиздат, 1981. 109 с.
5. Constantine N. G., Stanley K. R. Superoxide Dismutases in hanger plants // Plant Physiol. 1977. Vol. 59. P. 309–314.
6. Рогожин В. В. Методы биохимических исследований. Якутск: ЯГУ, 1999. 93 с.

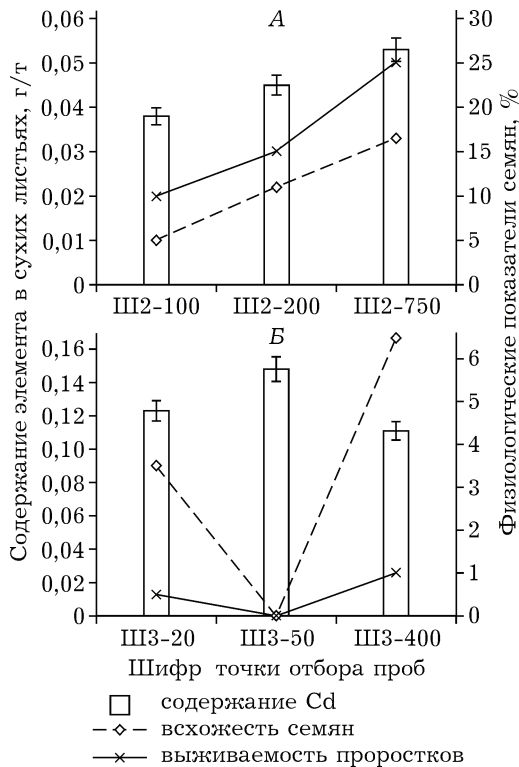


Рис. 2. Содержание кадмия в сухих листьях ольховника кустарникового, произрастающего на территории шахты № 2 (А) и № 3 (Б) и физиологические характеристики семенного потомства

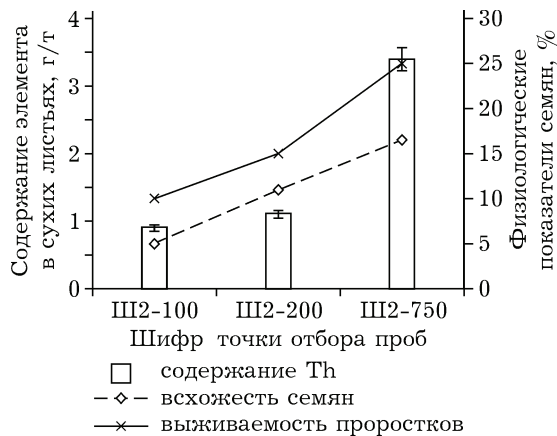


Рис. 3. Содержание тория в сухих листьях ольховника кустарникового, произрастающего на территории шахты № 2, и физиологические характеристики семенного потомства

Следует отметить, что АОС в пробах листьев ольховника кустарникового, отобранных с территорий шахт № 2 и 3, с увеличением мощности экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения изменяется нелинейно (см. табл. 4), что согласуется с литературными данными [14].



7. Артамонова С. Ю., Колмогоров Ю. П. Использование результатов РФА-СИ метода при оценке экологического состояния Алданского золотодобывающего района (Якутия)// Поверхность. 2005. № 9. С. 16–20.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
9. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
10. Ковальский В. В., Раецкая Ю. И., Грачева Т. И. Микроэлементы в растениях и кормах. М.: Колос, 1971. 235 с.
11. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Л., 1974. 342 с.
12. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 157 с.
13. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 199 с.
14. Журавская А. Н., Филиппов Э. В., Кершенгольц Б. М. Влияние биохимических адаптаций ольхи кустарниковой (*Duschekia fruticosa* (Rupr)) к повышенной естественному радиационному фону на выживаемость проростков и радиочувствительность ее семян // Радиационная биология. Радиоэкология. 2000. Т. 40, № 3. С. 254–260.
15. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России. 1999. 116 с.

## **Radionuclides and Heavy Metals in the System “Radioactive dumps – Soil – Plant” and Their Influence on Seed Progeny of *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar**

A. N. ZHURAVSKAYA, S. Yu. ARTAMONOVA\*, G. V. FILIPPOVA

*Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS  
677890, Yakutsk, Lenin ave., 41  
E-mail: jan43@mail.ru*

*\* Institute of Geology and Mineralogy SB RAS  
630090, Novosibirsk, Academician Koptyug ave., 3*

Results of monitoring studies of mine dumps in the area of uranium deposit in South Yakutia are presented. The complex application of biological, biochemical and geochemical methods allowed us to reveal mass transfer of radionuclides and heavy metals in the system “radioactive dumps – soil – plant” and their influence on seed progeny of *Duschekia fruticosa* (Rupr) Pouzar.

**Key words:** radionuclides, heavy metals, transfer coefficient, low-molecular and enzymatic antioxidants, seed progeny, germ survival.