

УДК 577.3 (571.56)
DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-5-15-26

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В КАМЫШАХ ГОРОДСКИХ ВОДОЁМОВ г. ЯКУТСК MICROELEMENTS IN THE REEDS OF URBAN WATERS BODIES IN YAKUTSK

*В. Н. Макаров, Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск
makarov@mpi.ysn.ru*

V. Makarov, Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk



Представлены результаты изучения химического состава камышей городских озер. Биологическая активность камыша, растущего в районе криолитозоны, снижается, но не прекращается в зимний период. Корни и стебли камыша обладают высокой поглощающей способностью к растворенным в воде и накапливающимся в донных отложениях микрокомпонентам. Накопление микроэлементов в корневой системе намного превышает их содержание в надземной фитомассе. Заросли камыша как естественный эколого-биогеохимический барьер можно использовать в качестве эффективного средства очистки загрязненных вод и донных отложений городских озер

Ключевые слова: камыш; корни; стебли; микроэлементы; город; озера; загрязнение; Якутск; городской водоем; эколого-биогеохимический барьер

The results of the study of the chemical composition of reeds urban lakes are presented. The biological activity of reeds growing in the permafrost zone area is reduced, but does not stop in winter. The roots and stems of reeds have a high absorption capacity for micro-components dissolved in water and accumulated in sediments. The accumulation of trace elements in the root system is much greater than their contents in the aboveground phytomass. Thickets of reeds, as a natural ecological and biogeochemical barrier, can be used as an effective means of purification of polluted waters and sediments of urban lakes

Key words: reeds; roots; stems; minerals; city; lakes; pollution; Yakutsk; city water; ecological-biogeochemical barrier

Введение. Камыш (народн.), или тростник обыкновенный (*Phragmites communis*, syn. *P. australis*) – высокое многолетнее прибрежно-водное травянистое растение. Развивает мощные, толстые и длинные (до 2 м) подземные (редко надземные) очень ветвистые корневища. Стебли прямые (соломина) до 1 см толщины, полые, гладкие, гибкие, от ветра не ломаются.

Листья 5...25 мм шириной, плотные серо- или темно-зелёные, длинные, узкие, ланцетно-линейные или линейные, суживающиеся к концу, заострённые, плоские, жёсткие.

Стебель заканчивается крупной (до 50 см длиной), развесистой, густой метёлкой, с темно-буроватыми или фиолетовыми колосками. Камыш – влаголюбивое растение, широко распространенное на почвах с близким стоянием грунтовых вод. Камыш обычен по болотам, зарастающим озёрам, заливным лугам, берегам рек и озёр на богатых, часто засоленных почвах [2].

С приходом холодов камыш обыкновенный остаётся зимовать в водоёме (рис. 1).

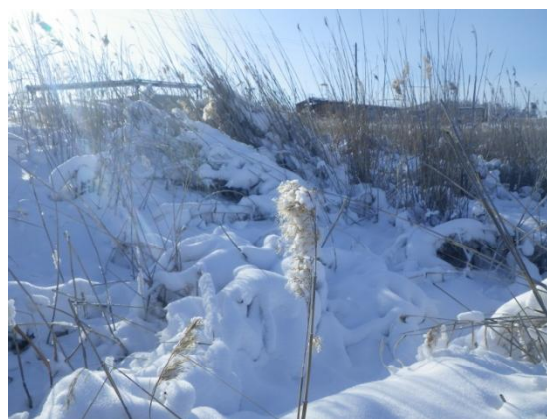


Рис. 1. Камыш зимой / Fig. 1. Reed in winter

Методология и методика исследований. г. Якутск – один из наиболее крупных городов России, расположенных в пределах криолитозоны. На 1 января 2016 г. население МО «Город Якутск» (без пригородов) составляет 303,8 тыс. человек. Территория города отличается высокой плотностью техногенного давления на экосистемы. Это обусловлено как неблагоприятными климатическими и инженерно-геологическими условиями, так и ошибками, допущенными при создании и эксплуатации городской

инфраструктуры. Техногенные геохимические аномалии фиксируются во всех природных средах: атмосфере, снежном покрове, почвах, природных водах, растительности.

В Якутске и его пригородах насчитывается несколько десятков озер, берега которых зарастают камышом. Наиболее крупные из них: Сайсары, Белое, Хомустан и др. Параметры некоторых крупных озер приведены в табл. 1.

Таблица 1/ Table 1

Параметры крупных озер г. Якутск / Parameters of large lakes of Yakutsk

Параметры озер/ Parameters of lakes	Ед. изм./ unit of measure.	Хомустан/ Homostah	Белое/ White	Сайсары/ Sisary	Хатын-Юрях/ Khatyn-Yuryakh
Площадь зеркала воды/ Water Mirror Area	км ² /km ²	0,238	0,670	0,490	0,255
Объем воды/Volume of water	м ³ /m ³	460 000	1 936 000	1 300 000	280 000
Площадь водосбора/ Spillway area	км ² /km ²	0,75	1,23	5,66	1,03
Глубина максимальная/ Maximum depth	м/m	3,1	6,5	6,0	3,0
Глубина средняя/ Average depth	м/m	1,94	2,89	2,65	1,1
Длина озера/Length of lake	км/km	1,05	1,3	1,4	5,2
Длина береговой линии/ Length of shoreline	км/km	3,1	6,7	5,4	10,7
Ширина максимальная/ Maximum width	км/km	0,31	1,28	0,47	0,16

Котловины озер в основном имеют плоское дно и слабовыраженные склоны, заросшие камышом и осокой. Наполнение озер происходит за счет таяния снега и частично летне-осенних дождей. В многоводные годы некоторые озера пополняются водами небольших рек – Шестаковки и Мархинки. Характер распространения рас-

тительности в озерах г. Якутск относительно однороден. Макрофиты представлены следующими видами: тростник обыкновенный (которому принадлежит ведущая роль в зарастании озер), манник, болотница болотная, хвощ, ряска, вех, бекмания, рогоз, многокоренник, вейник, сусак и череда. По данным Л. А. Пестряковой (2008), в

оз. Сайсары, с зеркалом воды около 0,5 км², растительность занимает примерно 19 % площади.

В черте Якутска – на побережье почти всех городских каналов и озер распростра-

нены густые заросли камыша, часто выше человеческого роста (рис. 2). На оз. Сайсары даже проводятся ежегодные общегородские соревнования по кошению камышей – «Куулэй».



Рис. 2. Заросли камыша на городских водоёмах / Fig. 2. Thickets of reeds on urban water bodies

Характерной особенностью камышей, растущих в г. Якутск, является то, что их биологическая активность продолжается и в зимний период при температурах воды в городских озерах от +0,6 до +1,9 °С. Про-

должается зимой активность и корневой системы, так как температура донных отложений озер не опускается ниже +2,1 °С и корневища камыша не отмирают (табл. 2).

Таблица 2/ Table 2

**Температура придонной воды и донных отложений озер /
Temperature of bottom water and bottom sediments of lakes**

Озеро/ Lake	Вода, донные отложения/ Water, bottom sediments	Глубина, м/ Depth, m	t, °C	Источник/ Source
Ытык-Кюель/ Ytyk-Kuel	Вода / Water	2,0	+1,9	по данным В. В. Куницкого, И. В. Дорофеева, И. И. Сыромятникова
	Ил (илистый суглинок) темно-серый, с горизонтальной и волнистой слоистостью за счет прослоев песка, озерный, талый/ Silt (clay loam) is dark grey, with horizontal and wavy layering due to interlayers of sand, lake, thawed	3,0	+3,2	
		4,0	+3,8	
Теплое/ Warm	Вода/ Water	3,0	+1,6	
	Суглинок (ил) черный, с тонкими (0,5...2,5 см) прослоями песка и сильным гнилостным запахом, талый/ Clay loam (silt) black, with thin (0,5...2,5 cm) sand interlayers and a strong putrefactive odor, thawed	4,0	+2,1	
	Супесь темно-серая, тяжелая, с тонкими (0,3...3 см) прослоями мелкого песка, талая/ Sandy loam dark grey, heavy, with thin (0,3...3 cm) interlayers of fine sand, thawed	5,0	+2,4	
Сергелях/ Sergel	Вода/ Water	2,0	+0,6	
	Суглинок коричневый, пластичный, талый/ Brown, plastic, thawed loam	3,0	+2,5	
	Супесь темно-серая, легкая, слабо заиленная, с небольшими (до 8...10 см) прослоями коричневого суглинка, талая/ Sandy loam is dark grey, light, slightly silty, with small (up to 8...10 cm) interlayers of brown loam, thawed	4,0	+3,3	
Сайсары/ Sisary	Вода (в период ноябрь–март)/ Water (in the period November–March	5,0	+2,2...+3,2	

В результате хозяйственной деятельности (строительство дорог, автомагистралей, дамб, засыпки и захламливания берегов водотоков и водоемов) изменены морфологические характеристики городских озер, нарушена естественная связь между озерами и

р. Лена. Застройка озерных мелководий и отсутствие надежной ливневой канализации привели к значительному загрязнению городских озер и каналов, некоторые из которых превратились в канавы (рис. 3).



Рис. 3. Заросли камыша вдоль городских каналов / Fig. 3. Thickets of reeds along city canals

В живом веществе Мировой суши находятся практически все рассеянные элементы. Считалось, что для нормального развития высших растений необходимы 10 элементов: С, N, P, S, O, H, K, Mg, Ca и Fe. В настоящее время список химических элементов, необходимых растениям, значительно расширился, в частности за счет металлов Mn, Cu, Zn, Mo и др. Многие редкие и рассеянные химические элементы в малых количествах являются стимуляторами роста и развития растений: Ni, Cr, Pb, Ra и др. [8]. Транспирационная деятельность растений проявляется в избирательном поглощении определенных ионов из воды (калия, натрия, кальция, хлора, сульфатов). Известны растения, поглощающие ионы Si, Fe, Mn, Mg, Al, Cu и даже золото [11].

Высокой ионообменной способностью обладают корни растений. Это помогает растениям поглощать минеральные вещества, необходимые для их роста.

Нахождение металлов в растениях указывает на присутствие их в почвах. Однако прямой зависимости между содержанием химических элементов в доступной (усвояемой) форме и общим их содержанием в

почвах не существует. Это связано с тем, что многие минералы и соединения макро- и микроэлементов находятся в почвах и подстилающих породах в труднодоступной форме (в виде труднорастворимых пород и минералов). Количество доступных растениям ионов тяжелых металлов зависит от наличия растворимых соединений металлов в почвах: хлоридов, сульфатов, бикарбонатов и др.

Сравнение интенсивности накопления растениями химических элементов из твердой, жидкой и газообразной фаз внешней среды показывает, что наиболее интенсивно они поглощаются из газообразной, а наименее интенсивно — из твердой фазы. Это связано с наименьшей энергией связи химических элементов в газообразных соединениях и весьма значительной энергией связи химических элементов, находящихся в твердых и кристаллических соединениях. По данным А. Л. Ковалевского [5], из водной среды растения поглощают химические элементы в 3000 раз более интенсивно, чем из твердой фазы почвы, а из воздуха в 10 раз интенсивнее, чем из водных растворов. И при наличии заметных кон-

центраций химических элементов в водных растворах или воздухе они могут вносить существенный вклад, а иногда и основной вклад в наблюдаемые в растениях содержания этих элементов.

На территории г. Якутск биогеохимическое опробование камышей проведено в прибрежной полосе озер и городских каналов.

В пробу отбирались стебли и корни камыша, растущего на берегах озер и город-

ских каналов. Отбор проб камыша стандартизован: сохранялось постоянство вида (*Phragmites com.*), органов (стебли и корни) и времени опробования.

Масса отбираемых проб составляла около 50 г, что достаточно для выполнения анализа золы. Средняя величина зольности составила 3,74 % в корнях и 2,12 % в стеблях тростника. Зольность камыша, произрастающего в городских каналах, примерно на 76 % выше, чем на озерах (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Зольность корней и стеблей камыша, n=38 / Ash content of roots and reed stems, n = 38

Часть растения/ Part of the plant	Содержание золы в сухом веществе, %/Ash content in dry matter,%		
	Озера/Lakes	Каналы/Channels	Среднее/ Average
Стебли/ Stems	1,84 (1,28...2,2)	2,40 (1,40...4,54)	2,12
Корни/Roots	2,60 (1,41...3,52)	4,87 (1,45...10,2)	3,74
Корни/Стебли/ Roots / Stems	1,4	2,0	1,8

Атомно-эмиссионный анализ микроэлементного состава биогеохимических проб выполнен в Центральной геологической лаборатории ГУГПП «Якутскгеология» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511039).

Обсуждение результатов. Соотношение надземных и подземных органов камыша и среднее содержание микроэлементов в растениях суши и камышах г. Якутска показано в табл. 4 и 5.

По сравнению с кларковыми содержаниями микроэлементов в растительности суши, камыши Якутска интенсивно нака-

пливают литофильные элементы (Ti, Li, Ga, Cr, W) и халькофильный Pb.

Аномальное содержание W и Pb в камыше можно объяснить техногенным обогащением донных отложений городских озер, в которых концентрация этих металлов значительно превосходит кларк осадочных пород (КОП). В то же время повышенное содержание в камыше комплекса литофильных элементов Ti, Li, Ga и Cr, концентрация которых в донных отложениях заметно ниже КОП, возможно связано с избирательным поглощением камышом этой группы элементов.

Таблица 4/Table 4

Соотношение надземных и подземных органов камыша, % общей биомассы [9] / Ratio of overground and underground reed organs,% of total biomass [9]

Наименование растения/Name of the plant	Органы/ Organs	
	Надземные/ Aboveground	Подземные/ underground
Камыш/ Reeds (Тростник обыкновенный/ Reed ordinary <i>Phragmites communis</i>)	15,8	84,2

Наблюдается существенная неравномерность распределения микроэлементов в

надземной и подземной фитомассе камыша (табл. 5).

Таблица 5/Table 5

**Содержание микроэлементов в корнях и стеблях тростника, мг/кг/
The content of micro-elements in the roots and stems of reed, mg/kg**

Химические элементы/ Chemical elements	Корни (19)/Roots			Стебли (18)/ Stems		
	Среднее/ Average	Миним./ Min.	Максим./ Maksim.	Среднее/ Average	Миним./ Min.	Максим./ Maksim.
Li	10	5	30	8	5	30
Be	<1	–	–	<1	–	–
B	49	20	100	31	20	50
P	4600	1500	7000	3400	700	5000
Sc	<5	–	–	<5	–	–
Ti	740	300	1000	360	200	500
V	14	7	20	2,9	1	7
Cr	26	7	50	6,2	5	15
Mn	1700	1000	7000	725	500	1000
Co	1,5	0,5	3	<0,3	0,5	
Ni	10,2	3	15	7,9	3	15
Cu	32	20	50	25	20	50
Zn	130	70	200	67	20	100
Ga	6,8	3	10	0,75	0,5	7
Ge	0,4	0,1	1	0,7	0,1	1,5
Mo	3,3	1,5	5	2	1,5	3
Ag	0,29	0,1	0,7	0,15	0,1	0,3
Sn	1,1	0,5	5	0,62	0,5	5
Sb	1	1	15	<0,5	–	–
La	<100	–	–	<100	–	–
W	2,8	1	5	1	1	1
Pb	35	7	150	5,2	2	20

Накопление микроэлементов в корневой системе намного превышает их содержание в надземной фитомассе (в скобках отношение корни/стебли):

Ga, Pb (9–7) > Co, V, Cr (5–4) > Mn, W (3) > Ti, Sb, Ag, Zn, Sn, Mo, B(2) > P, Cu, Zn (1,5–1) > Ge (0,6).

Максимальное накопление в корневой системе наблюдается для Ga, Pb, Co, V и Cr, среднее содержание которых в корнях в 4...9 раз превышает их значение в стеблях камыша.

Корневая система камышей, произрастающих вдоль городских каналов (канал), содержит повышенные концентрации микроэлементов по сравнению с озерными растениями (рис. 4). Преимущественное накопление в корневой системе «канальных» камышей свойственно в основном халькофильным элементам – серебру, свинцу, олову, которые считаются очень ядовитыми, препятствующими росту растений, и уменьшается в ряду (в скобках отношение содержания системы каналы/озера): Ag (5) > Pb (4) > Sn (3) > Cr, Ga, Zn, Ge (2).

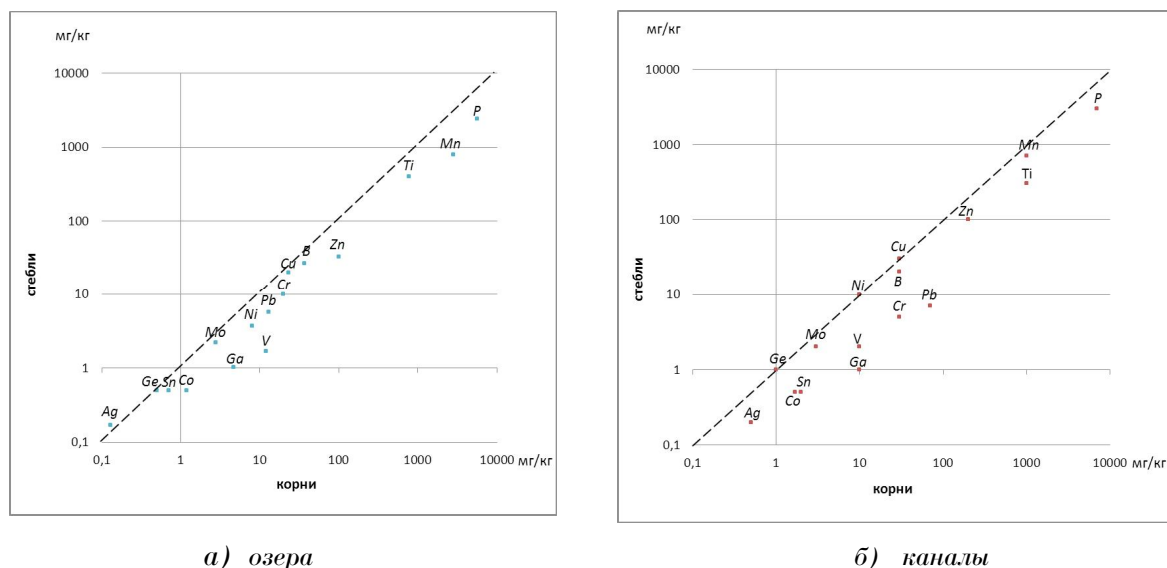


Рис. 4. Соотношение концентрации микроэлементов в системе стебли-корни камыша в (а) озерах и (б) каналах / Fig. 4. The ratio of trace elements concentration in the system of stems-roots of reeds in lakes and canals

Донные отложения активно аккумулируют компоненты-загрязнители – Pb, Cu, Zn, Sn, Ag, W, концентрация которых в последнее десятилетие значительно выросла. Степень загрязненности донных отложений

озер города оценивается как умеренная, но в отдельных водоёмах загрязнение достигает опасного и даже чрезвычайно опасного санитарно-токсикологического состояния (табл. 6).

Таблица 6/ Table 6

Кларковое содержание микроэлементов в растениях и среднее содержание в камышах Якутска, мг/кг / Clark content of microelements in plants and average content in the reeds of Yakutsk, mg/kg

Х.Э.	Растения суши [6; 12]/ Land Plants [6; 12]	Кларк наземных растений [1; 3; 4]/ Clark of land plants [1; 3; 4]	Камыш/ Reed
Li	0,1	0,1	9
Be	0,1	–	<1
B	50	50,0	43,4
P	2300	700,0	3867
Sc	0,008	0,008	<5
Ti	1,0	1,0	542
V	1,6	1,6	7,6
Cr	0,23	0,23	15,8
Mn	630	60,0	1318
Co	0,5	0,5	1,0
Ni	3	3,0	9
Cu	14	2,0	26,4
Zn	100	14,0	92
Ga	0,06	0,06	4,2
Y	–	0,1	<10
Nb	0,02	0,3	<5
Mo	0,9	0,9	2,6
Ag	0,06	0,06	0,25
Sn	0,3	0,3	1,0
Sb	0,06	–	0,7
La	0,085	0,085	<100
W	0,07	–	1,9
Pb	2,7	2,7	26,3

Для группы химических элементов, концентрирующихся в донных отложениях городских озер, характерна энергичная, сильная (P, Mn, Zn, B, Mo, Cu, Pb) и средняя (Ga, Sn, Cr, Ni) интенсивность биологического поглощения. Большинство перечисленных элементов являются при-

оритетными загрязнителями донных отложений.

В корнях камыша, произрастающего в озерах г. Якутск, концентрируется примерно в 10 раз больше P, в 5 раз Mn, на 20...30 % больше B, Zn и Mo, чем содержится в донных отложениях озер (рис. 5).

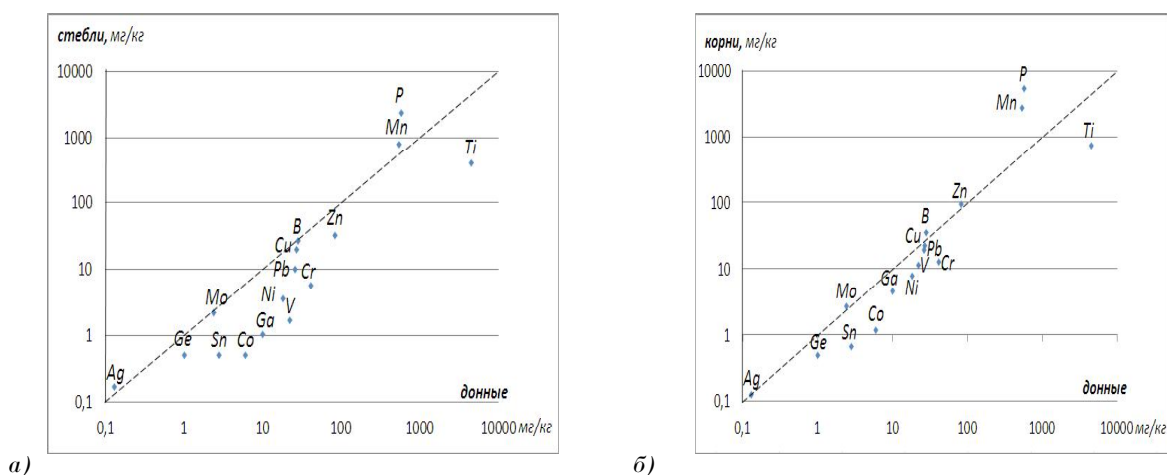


Рис. 5. Зависимость содержания микроэлементов в системе камыш (а – стебли, б – корни) – донные отложения в озерах Якутска/ Fig. 5. Dependence of the content of micro-elements in the system reeds (stems, roots) – bottom sediments in the lakes of Yakutsk

Поглощающая способность стеблей камыша меньше, чем у корней. Тем не менее, в стеблях концентрируется больше, чем находится в донных отложениях озер: Mn, Ag и B на 15...40 %, а P почти в 6 раз.

Как в корневой, так и наземной системах камышей наблюдается максимальное концентрирование P и Mn элементов энергичной и сильной интенсивности биологического поглощения.

Важно отметить, что биологическое концентрирование в корнях камышей элементов-загрязнителей озерных экосистем способствует захоронению загрязняющих веществ в донных отложениях, предотвращая их вторичное поступление в воду.

Практически все городские озера по критериям оценки химического загрязнения поверхностных вод оцениваются как относительно удовлетворительные по концентрации химических веществ 1...2 классов опасности [7]. Некоторые озера

по присутствию соединений 3...4 классов опасности в воде может быть отнесен к зонам чрезвычайной экологической ситуации и даже экологического бедствия.

Контрастность гидрогеохимических аномалий в городских озерах достигает десятков для Sr, P, Cr, Zn, Mn, Ba, Na, K, NH₄ и даже сотен для Cl⁻ и SO₄²⁻ единиц по отношению к фону.

Качество воды озер г. Якутск не удовлетворяет требованиям рыбохозяйственного использования. Вода насыщена токсичными соединениями (Mn, P, NH₄, Fe, Na, Mg, Cu), концентрация которых значительно (в десятки раз) превышает предельно-допустимые концентрации (табл. 7).

Одной из важных задач экологии озерных систем города является снижение концентрации в воде токсичных соединений, в первую очередь Mn, P, NH₄, Fe, Na, Mg и Cu.

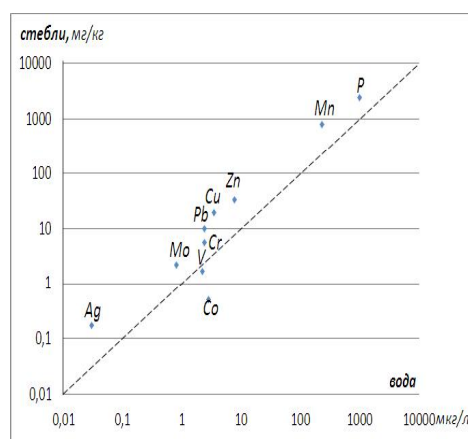
Таблица 7/ Table 7

Содержание микроэлементов в корнях и стеблях тростника, мг/кг/
The content of micro-elements in the roots and stems of reed, mg / kg

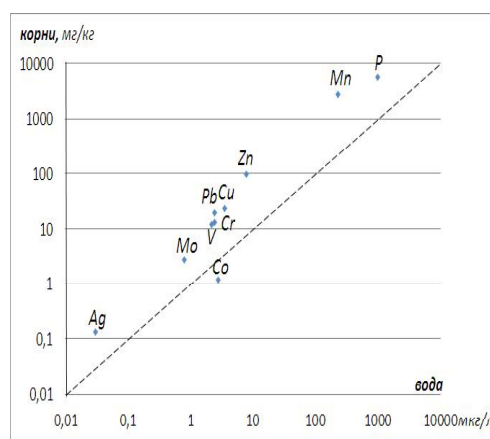
Химические элементы/ Chemical elements	Корни/ Roots (19)			Стебли/ Stems (18)		
	Среднее/ Average	Миним/ Min.	Максим/ Maksim.	Среднее/ Average	Миним/ Min.	Максим/ Maksim.
Li	10	5	30	8	5	30
Be	<1	–	–	<1	–	–
B	49	20	100	31	20	50
P	4600	1500	7000	3400	700	5000
Sc	<5	–	–	<5	–	–
Ti	740	300	1000	360	200	500
V	14	7	20	2,9	1	7
Cr	26	7	50	6,2	5	15
Mn	1700	1000	7000	725	500	1000
Co	1,5	0,5	3	<0,3	0,5	–
Ni	10,2	3	15	7,9	3	15
Cu	32	20	50	25	20	50
Zn	130	70	200	67	20	100
Ga	6,8	3	10	0,75	0,5	7
Ge	0,4	0,1	1	0,7	0,1	1,5
Mo	3,3	1,5	5	2	1,5	3
Ag	0,29	0,1	0,7	0,15	0,1	0,3
Sn	1,1	0,5	5	0,62	0,5	5
Sb	1	1	15	<0,5	–	–
La	<100	–	–	<100	–	–
W	2,8	1	5	1	1	1
Pb	35	7	150	5,2	2	20

Корневая и надземная системы камышей способны концентрировать большинство микроэлементов, накапливающихся в

озерных водах, при большей поглощающей способности корней (рис. 6).



а)



б)

Рис. 6. Соотношение содержания микроэлементов в системе камыш (а – стебли, б – корни) – вода в озерах Якутска/ Fig. 6. Ratio of micro-elements in the system reeds (stems, roots) – water in the lakes of Yakutsk

Повышение концентрации микроэлементов (Pb, Mn, Cu, Zn, Co, Mo) в воде озер в 4–10 раз сопровождается увеличением содержания этих элементов в камы-

ше: в корнях в 1,5...3 раза, в стеблях — для большей части компонентов в 1,5...2 (рис. 7).

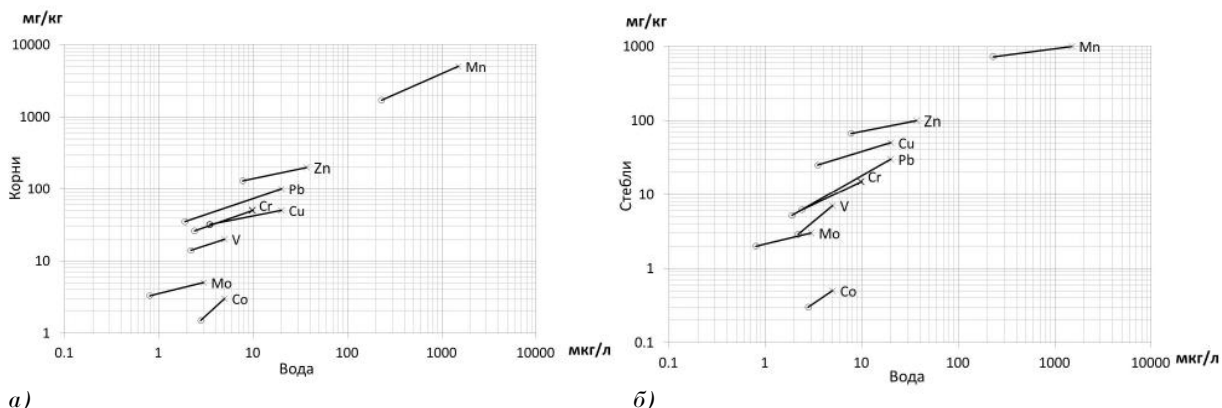


Рис. 7. Соотношение средней и аномальной концентрации микроэлементов в системе камыш (а – стебли, б – корни) – вода / Fig. 7. Ratio of mean and anomalous micro-elements concentration in the system of reeds (stems, roots) – water

Максимальное синхронное повышение концентрации в воде озер и стеблей камыша наблюдается у свинца – в 6 раз. Возможно, что аномальная контрастность превышения концентрации этого элемента в стеблях над корнями камыша, обусловлена интенсивным поглощением Pb из газообразной фазы. В приземной атмосфере центральной части города концентрация аэрозолей свинца достигает 580 нг/м³, около 2 ПДК.

Таким образом, можно констатировать, что камыш активно перехватывает и накапливает микроэлементы из растворенных в воде и веществ, входящих в состав донных отложений.

Важным является вопрос о максимальном количестве металлов, накапливаемых водными растениями в условиях сильного загрязнения сточных вод. Имеющиеся в литературе сведения противоречивы и существенно отличаются друг от друга. Наиболее надежные данные по максимальному количеству металлов, накапливаемых водными растениями, получены J. Jackson с соавторами [14]. Приведенные этим исследователем сведения близки показателям большинства элементов в корневой системе камышей г. Якутск (табл. 8). Исключение кобальт и никель, концентрация которых в озерах города незначительна.

Таблица 8 / Table 8

Максимальные количества металлов, накапливаемых водными растениями за вегетационный период (мг/кг сухой массы)

The maximum quantities of metals accumulated by aquatic plants during the vegetation period (mg / kg dry weight)

Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Источник
57,5	2 760	860	840	140	1 250	580	Jackson at al., 1991
50	7 000	3	15	50	200	150	Камыш, корни / reed, roots
15	1 000	0,5	15	50	100	200	Камыш, стебли / reed, stems

Для обезвреживания сточных вод [9; 14] предлагается использовать болотные

системы как естественные эколого-геохимические барьерные зоны. В процессе ис-

пользования биотехнологического способа очистки стоков важное значение имеет выбор растений, которые должны обладать высокой поглощающей способностью, устойчивостью к гидрохимическому и гидрологическому режиму, а также широкой распространенностью в ландшафте.

Выводы. Полученные данные о поглощающей способности камыша (*Phragmites com.*) свидетельствуют об эффективности растения как очистителя загрязненных озерных систем (вода-донные), расположенных на территории г. Якутск.

Камыш представляет собой естественный эколого-биогеохимический барьер. Он активен круглый год, так как и в зимний период его биологическая активность снижается, но не прекращается. По сравнению с кларковыми содержаниями микроэлементов в растительности суши, камыши Якутска интенсивно накапливают Ti, Li, Ga, Cr, W, Pb.

Элементами энергичного и сильного биологического накопления в камышах являются P, Mn, Zn, B, Mo, Cu, Pb.

Слабой интенсивностью биогенной миграции отличаются Ti, Co, V, Ag, Ni, Ga, Cr

и Sn, которые относятся преимущественно к группе биологического захвата растениями.

Корни и стебли камыша обладают высокой поглощающей способностью (мг/кг сухой массы): n – Co, $10 \cdot n$ – Cr, Ni, Cu, $100 \cdot n$ – Zn, Pb, $1000 \cdot n$ – Mn.

Наблюдается существенная неравномерность распределения микроэлементов в надземной и подземной фитомассе камыша. Максимальное накопление в корневой системе наблюдается для Ga, Pb, Co, V и Cr, среднее содержание которых в корнях в 4...9 раз превышает их значение в стеблях камыша.

Камыш активно перехватывает и накапливает микроэлементы, растворенные в воде и входящие в состав донных отложений, и перспективен для применения биотехнологического способа очистки загрязненных водоёмов. Он обладает высокой поглощающей способностью, устойчивостью к гидрохимическому и гидрологическому режиму и широкой распространенностью в ландшафте.

Список литературы

1. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
2. Губанов И. А., Киселева К. В., Новиков В. С., Тихомиров В. Н. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (*P. communis* Trin.) – Тростник обыкновенный, или южный // Иллюстрированный определитель растений Средней России. В 3 т. М.: Институт технологических исследований, 2002. Т. 1. Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). С. 285.
3. Добровольский В. В. Некоторые аспекты загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Биологическая роль микроэлементов. М.: Наука, 1983. С. 44–54.
4. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов // Редкие элементы. М.: Экология, 1996. 352 с.
5. Ковалевский А. Л. Особенности формирования рудных биогеохимических ореолов. Новосибирск: Наука, 1975. 115 с.
6. Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.
7. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Мин. охраны окружающей среды РФ, 1992. 48 с.
8. Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 264 с.
9. Пестриков С. В., Исаева О. Ю., Мустафин А. Г., Сулюндуков Я. Т., Ковтуненко С. В., Шайдулина Г. Ф., Рагозина Т. А., Красногорская Н. Н. Обоснование эффективности эколого-геохимического барьера с высшими водными растениями для доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов // Инженерная экология. 2007. № 2. С. 21–28.
10. Пестрякова Л. А. Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2008. 197 с.
11. Babička I. Gold in Lebenwessen. *Microchem.*, 1943, Bd. 31.
12. Bowen H. J. M. Trace Elements in Biochemistry. New York: Academic Press, 1966. 241 p.

13. Fortescue J. A. C. Biogeochemistry, plant growth and the environment. CIM Bull., 64 (August), 1971, pp. 77–82.

14. Jackson J. J., Rasmussen J. B., Petters R. H., Kalff J. Empirical composition on aquatic macrophytes and their underlying sediments // Biogeochemistry, 1991, vol. 12, pp. 71–86.

References

1. Vinogradov A. P. *Geohimiya* (Geokhimiya), 1962, no. 7, pp. 555–571.
2. Gubanov I. A., Kiseleva K. V., Novikov V. S., Tikhomirov V. N. *Illyustrirovannyi opredelitel rasteniy Sredney Rossii. V 3 t. M.: Institut tehnologicheskikh issledovaniy* [Illustrated determinant of plants in Central Russia]. In 3 vol. Moscow: Institute for Technological Research, 2002. Vol. 1. Ferns, horsetails, plauns, gymnosperms, angiosperms (monocots). P. 285.
3. Dobrovolsky V. V. *Biologicheskaya rol mikroelementov* [Biological role of micro-elements]. Moscow: Science, 1983, pp. 44–54.
4. Ivanov V. V. *Redkie elementy* [Rare Elements]. Moscow: Ecology, 1996. 352 p.
5. Kovalevsky A. L. *Osobennosti formirovaniya rudnykh biogeoхимических ореолов* [Features of ore biogeochemical haloes formation]. Novosibirsk: Science, 1975. 115 p.
6. Kovalsky V. V. *Geoхимическая экология* [Geochemical ecology]. Moscow: Science, 1974. 299 p.
7. *Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyjavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya* [Criteria for assessing the ecological situation in the territories for identifying zones of emergency environmental situation and zones of ecological disaster]. Moscow: Min. of Environment Protection of the Russian Federation, 1992. 48 p.
8. Malyuga D. P. *Biogeoхимический метод poiskov rudnykh mestorozhdeniy* [Biogeochemical method of prospecting ore deposits]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 264 p.
9. Pestrikov S. V., Isaeva O. Yu., Mustafin A. G., Suyundukov Ya. T., Kovtunen S. V., Shaydulina G. F., Ragozina T. A., Krasnogorskaya N. N. *Inzhenernaya ekologiya* (Engineering ecology), 2007, no. 2, pp. 21–28.
10. Pestryakova L. A. *Diatomovye komplekсы ozer Yakutii* [Diatom complexes of lakes of Yakutia]. Yakutsk: YSU Publishing, 2008. 197 p.
11. Babička I. *Gold in Lebenwessen* [Gold in Lebenwessen]. Microchem., 1943, Bd. 31.
12. Bowen H. J. M. *Trace Elements in Biochemistry* [Trace Elements in Biochemistry]. New York: Academic Press, 1966. 241 p.
13. Fortescue J. A. C. *Biogeochemistry, plant growth and the environment* (Biogeochemistry, plant growth and the environment). CIM Bull., 64 (August), 1971, pp. 77–82.
14. Jackson J. J., Rasmussen J. B., Petters R. H., Kalff J. *Biogeochemistry* (Biogeochemistry), 1991, vol. 12, pp. 71–86.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Макаров Владимир Николаевич, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория подземных вод и геохимии криолитозоны, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия. Область научных интересов: геохимия криолитозоны
vnmakarov@mpi.ysn.ru

Vladimir Makarov, doctor of geol.-mineralogical sciences, professor, chief researcher, Laboratory of Groundwater and Geochemistry of the Cryolithozone, Permafrost Institute named after P. I. Melnikov, SB RAS, Yakutsk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry of cryolithozone

Образец цитирования

Макаров В. Н. Микроэлементы в камышах городских водоемов г. Якутск // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 5. С. 15–26. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-5-15-26.

Makarov V. Microelements in the reeds of urban water bodies in Yakutsk // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 5, pp. 15–26. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-5-15-26.

Дата поступления статьи: 02.05.2017 г.
Дата опубликования статьи: 31.05.2017 г.