

## Тренды содержания химических элементов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных условиях произрастания и при техногенной нагрузке

Т. А. МИХАЙЛОВА, О. В. КАЛУГИНА, Л. В. АФАНАСЬЕВА\*, О. И. НЕСТЕРЕНКО

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
E-mail: mikh@sifibr.irk.ru

\*Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
E-mail: afanl@mail.ru

### АННОТАЦИЯ

Исследования проводились в разных частях Байкальского региона – в Южном Предбайкалье, Юго-Западном Забайкалье и Северном Прибайкалье. Показано, что большее влияние на изменение трендов содержания химических элементов в хвое сосны обыкновенной оказывает биогеографический фактор, в меньшей степени они изменяются в разных типах леса, приуроченных к одному географическому району. Однако наиболее сильным фактором, вызывающим дисбаланс большинства элементов, является техногенная нагрузка. Сделан вывод, что исследование трендов элементов в ассимиляционных органах древесных растений служит важнейшим звеном при системном анализе жизненного состояния древостоев в природных условиях и при воздействии абиотических факторов.

**Ключевые слова:** Байкальский регион, сосна обыкновенная, тренды элементов в хвое, фоновые территории, техногенная дигрессия.

Информация о содержании и трендах химических элементов в растениях необходима для решения целого ряда задач, в том числе связанных с биоиндикацией состояния окружающей среды, оценкой миграционных потоков элементов в экосистемах, диагностированием изменений питательного статуса фитоценозов и нарушений жизненного состояния растительных организмов [1–4]. Особен-

но информативны данные о содержании химических элементов в ассимилирующей фитомассе, поскольку ее показатели отражают состояние и функционирование всего растения [5]. По содержанию химических элементов в ассимиляционных органах судят также о типе биологического круговорота веществ [6]. Дисбаланс элементов питания вызывает нарушение продукционных процессов и повреждение растений, поэтому многие типы природных и антропогенных повреждений фитоценозов объясняются нарушением их питательного статуса [7].

---

Михайлова Татьяна Алексеевна  
Калугина Ольга Владимировна  
Афанасьева Лариса Владимировна  
Нестеренко Ольга Ивановна

Из параметров фитоценоза наиболее значимыми считаются параметры древостоя, поскольку именно древостой принимает на себя основную нагрузку, определяя всю последующую циркуляцию элементов в лесной экосистеме [8]. При этом роль регуляторного звена принадлежит ассимилирующим органам [5, 7].

Данных по содержанию химических элементов в растениях Байкальского региона и Сибири в целом очень мало, хотя они представляют научный интерес при изучении функционирования и устойчивости природных комплексов в широком диапазоне условий их существования, а также служат основой для оценки региональных биологических ресурсов и масштабов их нарушенности.

Базовым критерием, указывающим на естественный состав элементов и, соответственно, ненарушенный питательный режим фитоценоза, служит содержание химических элементов на фоновых территориях. Байкальский регион, располагаясь на территории площадью около 40 млн га (российская часть), отличается огромным разнообразием лесных биогеоценозов, большая часть которых находится в фоновых условиях [9]. В то же время значительная часть лесопокрытой терри-

тории испытывает воздействие техногенного загрязнения – негативного фактора, в наибольшей степени нарушающего питательный статус древостоев за счет нерегулируемого привноса элементов-поллютантов.

Цель работы – исследование трендов содержания биогенных элементов и элементов-поллютантов в ассимиляционных органах растения-индикатора – сосны обыкновенной и на этой основе характеристика особенностей питательного статуса древостоев в разных биогеографических условиях, типах леса и при техногенной нагрузке. Поскольку питательный статус отражает жизненное состояние дерева и древостоя, то параллельно по комплексу морфоструктурных параметров выявлялись нарушения ростовых процессов деревьев.

#### РАЙОН, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования лесов проводились на пробных участках в разных частях Байкальского региона – в Южном Предбайкалье, Юго-Западном Забайкалье и в Северном Прибайкалье, отличающихся по природным характеристикам (табл. 1).

В пределах каждой географической территории исследовали фоновые сосновые на-

Т а б л и ц а 1

Краткая характеристика пробных участков, по работам [10, 11]

Показатель	В Южном Предбайкалье	В Юго-Западном Забайкалье	В Северном Прибайкалье
Географические координаты	От 52° до 53° с. ш. От 103° до 104° в. д.	От 51° до 52° с. ш. От 107° до 109° в. д.	От 55° до 56° с. ш. От 109° до 111° в. д.
Высота над ур. м., м	От 440 до 650	От 550 до 900	От 500 до 670
Гористость, %	20–30	60–70	80–90
Коэффициент континентальности климата по Иванову	235–239	262–266	218–239
Годовая сумма осадков, мм	400–500	250–350	250–500
Среднегодовая температура, °С	–1,9	–2,7	–4,2
Сумма температур >10 °С	1680	1600	1430
Типы почв (наиболее распространенные)	Серые лесные, подзолистые, дерново-карбонатные	Дерновые лесные, боровые пески	Дерновые лесные, дерново-подзолистые, подзолистые
Мерзлота	Сезонная	Сезонная	Многолетняя
Лесистость, %	55	65	85
Продолжительность безморозного периода, дней	118	110	90

саждения и древостои, подвергающиеся воздействию эмиссий промышленных центров: в Южном Предбайкалье – Усольско-Ангарского, в Юго-Западном Забайкалье – Улан-Удэнского, в Северном Прибайкалье – Северобайкальского. Сумма выбросов промцентров составляет 180, 40 и 3 тыс. т соответственно [12]. В эмиссиях промцентров преобладают диоксид серы, оксиды азота, аэрозоли тяжелых металлов, углеводов.

Исследовали наиболее распространенные группы типов леса: в Южном Предбайкалье – сосняки разнотравные и рододендроновые преимущественно III класса бонитета, в Юго-Западном Забайкалье – сосняки ксерофитно-низкотравные и рододендроновые преимущественно IV класса бонитета, в Северном Прибайкалье – сосняки рододендроновые IV класса бонитета. Обследование древостоев проводилось на пробных участках, заложенных в соответствии с принятыми методиками [13–15]. На 33 пробных площадях у деревьев сосны определяли визуальные и морфоструктурные параметры крон. Содержание элементов (азота, фосфора, калия, натрия, кальция, магния, серы, фтора, свинца, кадмия, ртути, меди, железа, цинка, марганца) определяли в хвое второго года жизни, как наиболее физиологически актив-

ной. Элементный состав хвои анализировали методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии, пламенной фотометрии, фотоколориметрирования [16, 17]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Ms Office (Excel) и STATISTICA 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о различиях в элементном химическом составе хвои сосны на фоновых территориях в разных биогеографических условиях (табл. 2). В Южном Предбайкалье наибольшая степень варьирования (от 30 до 40 %) выявлена для свинца, ртути, марганца, кремния; в Северном Прибайкалье – для кадмия, ртути, цинка, кальция; в Юго-Западном Забайкалье коэффициенты вариации относительно низкие, не превышают 12 %. Северное Прибайкалье выделяется по меньшему содержанию в хвое азота, магния, кальция, натрия и более высокому уровню фосфора, калия, кремния, марганца, цинка, кадмия. В Юго-Западном Забайкалье в хвое сосны несколько больше серы, фтора, свинца, кальция, но более низкий уровень цинка, меди, железа, марганца, кадмия. Южное Предбайкалье по

Т а б л и ц а 2

Содержание элементов (% от сухой массы) в хвое сосны обыкновенной на фоновых территориях Байкальского региона

Элемент	Южное Предбайкалье	Юго-Западное Забайкалье	Северное Прибайкалье
Сера ( $\times 10^{-2}$ )	3,00 $\pm$ 0,06	3,28 $\pm$ 0,25	3,15 $\pm$ 0,60
Фтор ( $\times 10^{-3}$ )	1,07 $\pm$ 0,06	1,28 $\pm$ 0,09	0,98 $\pm$ 0,05
Свинец ( $\times 10^{-5}$ )	1,06 $\pm$ 0,23	1,20 $\pm$ 0,14	0,95 $\pm$ 0,16
Кадмий ( $\times 10^{-6}$ )	2,64 $\pm$ 0,28	1,68 $\pm$ 0,05	3,36 $\pm$ 1,10
Ртуть ( $\times 10^{-6}$ )	1,30 $\pm$ 0,35	0,90 $\pm$ 0,08	0,58 $\pm$ 0,15
Цинк ( $\times 10^{-3}$ )	3,65 $\pm$ 0,35	3,39 $\pm$ 0,22	6,02 $\pm$ 1,31
Медь ( $\times 10^{-4}$ )	2,81 $\pm$ 0,13	2,08 $\pm$ 0,02	2,79 $\pm$ 0,18
Железо ( $\times 10^{-2}$ )	0,86 $\pm$ 0,04	0,45 $\pm$ 0,05	1,00 $\pm$ 0,02
Марганец ( $\times 10^{-2}$ )	2,77 $\pm$ 0,86	1,57 $\pm$ 0,06	3,49 $\pm$ 0,23
Калий ( $\times 10^{-1}$ )	3,83 $\pm$ 0,40	4,00 $\pm$ 0,31	4,47 $\pm$ 0,08
Фосфор ( $\times 10^{-1}$ )	1,43 $\pm$ 0,07	1,60 $\pm$ 0,14	2,73 $\pm$ 0,31
Кальций ( $\times 10^{-1}$ )	5,49 $\pm$ 0,13	5,90 $\pm$ 0,26	4,11 $\pm$ 1,52
Магний ( $\times 10^{-1}$ )	1,38 $\pm$ 0,21	1,49 $\pm$ 0,05	0,94 $\pm$ 0,05
Натрий ( $\times 10^{-2}$ )	1,26 $\pm$ 0,01	1,33 $\pm$ 0,05	0,81 $\pm$ 0,01
Кремний ( $\times 10^{-1}$ )	0,68 $\pm$ 0,23	0,65 $\pm$ 0,08	2,51 $\pm$ 0,01
Азот	1,39 $\pm$ 0,05	1,35 $\pm$ 0,05	1,04 $\pm$ 0,05

содержанию элементов ближе к Юго-Западному Забайкалью, но есть и отличия – более высокий уровень марганца, железа, меди, кадмия. Выявляются различия и в рядах накопления элементов, в частности, в Северном Прибайкалье в группы большего накопления входят кремний и железо, в группы меньшего накопления – магний, натрий, фтор, свинец. На основе этих данных в Северном Прибайкалье сосна обыкновенная характеризуется калиево-азотным типом минерального питания, а в Южном Предбайкалье и Юго-Западном Забайкалье – кальциево-азотным.

Фоновые территории в меньшей степени различаются по суммарному содержанию элементов, лежащих на линии питательных веществ “калий – углерод – железо” в периодической системе Д. И. Менделеева [18], в Южном Предбайкалье оно составляет 2,74, в Юго-Западном Забайкалье – 2,75, в Северном Прибайкалье – 2,62 % от сухого вещества. В связи с этим представляло интерес выяснить изменение не только абсолютного содержания элементов, но и их соотношений. Поскольку и ростовые процессы, и устойчивость растений обеспечиваются определенным соотношением элементов питания, данный критерий оценки жизненного состояния растительного организма часто является более информативным по сравнению с количественным содержанием макро- и микроэлементов.

Результаты показывают, что по соотношению элементов Северное Прибайкалье характеризуется большими отличиями от Южного Предбайкалья и Юго-Западного Забайкалья (табл. 3). Об этом же свидетельствуют и результаты кластерного анализа, согласно которым уровень сходства Предбайкалья

и Забайкалья по содержанию элементов составляет 75 %, в то время как уровень сходства их с Северным Прибайкальем – около 40 %.

Согласно полученным результатам, Южное Предбайкалье и Юго-Западное Забайкалье, имеющие существенные различия по биогеографическим условиям, обнаруживают, тем не менее, сходство рядов накопления элементов и их соотношений, в то же время Северное Прибайкалье явно отличается по исследованным характеристикам. Повидимому, формирование химического состава хвои на первых двух территориях в большей степени определяется видовыми генетическими факторами, а в Северном Прибайкалье в этом процессе более значима роль природно-экологических условий.

Влияние лесотипологического фактора на элементный химический состав ассимиляционных органов сосны рассматривалось по двум схемам. При анализе соотношений биогенных элементов по схеме: “один тип леса – разные географические районы” на примере сосняков рододендроновых показано, что вариабельность элементного состава хвои довольно высока (табл. 4). Различия меньшие, если рассматривать соотношения биогенных элементов по другой схеме: “один географический район – разные типы леса” (табл. 5).

При выяснении связи между обеспеченностью элементами питания и ростовыми характеристиками ассимилирующих органов древостоев сосны обнаруживаются положительные корреляции между суммарным содержанием биогенных элементов и основными морфоструктурными параметрами ( $r = 0,7-0,9$ ). Если судить по количественным значениям параметров, то древостои Южно-

Т а б л и ц а 3

**Соотношение концентраций элементов в хвое сосны обыкновенной на фоновых территориях Байкальского региона**

Биогеографический район	Соотношение элементов*					
	N : P : K	K : Ca	K : Mg	P : S	Mn : S	Mn : Fe
Южное Предбайкалье	73 : 7 : 20	41 : 59	74 : 26	83 : 17	48 : 52	76 : 24
Юго-Западное Забайкалье	71 : 8 : 21	40 : 60	73 : 27	83 : 17	32 : 68	78 : 22
Северное Прибайкалье	59 : 16 : 25	52 : 48	83 : 17	90 : 10	53 : 47	78 : 22

\*Соотношения вычислялись как процентная доля каждого элемента от суммы двух (трех) элементов в сухом веществе.

Т а б л и ц а 4

**Соотношения концентраций элементов в хвое сосняков рододендроновых  
из разных биогеографических районов**

Биогеографический район	Соотношение элементов					
	N : P : K	K : Ca	K : Mg	P : S	Mn : S	Mn : Fe
Южное Предбайкалье	74 : 7 : 18	40 : 60	72 : 28	83 : 17	53 : 47	79 : 21
Юго-Западное Забайкалье	69 : 10 : 21	40 : 60	71 : 29	85 : 15	33 : 67	80 : 20
Северное Прибайкалье	59 : 15 : 26	52 : 48	83 : 17	90 : 10	56 : 44	80 : 20

го Предбайкалья отличаются более высокими показателями роста и состояния ассимилирующих органов в сравнении с насаждениями Юго-Западного Забайкалья и Северного Прибайкалья (табл. 6). Поскольку по общему содержанию биогенных элементов в хвое древостои трех биогеографических районов различаются мало, а по морфоструктурным параметрам различия значительны, можно заключить, что на ростовые процессы затраты вещества и энергии в древостоях

разных регионов будут существенно отличаться – в Южном Предбайкалье эта доля наибольшая, в Юго-Западном Забайкалье и Северном Прибайкалье – меньшая.

Формирование питательного статуса растений на фоновых территориях может рассматриваться как единообразный системный процесс, характеризующийся воздействием однотипных факторов на входе (гидротермический режим, эдафические условия, рельеф). И тем не менее, как видно из изложен-

Т а б л и ц а 5

**Соотношения концентраций элементов в хвое сосны из разных типов леса  
в пределах одного биогеографического района**

Район	Тип леса	Соотношение элементов					
		N : P : K	K : Ca	K : Mg	P : S	Mn : S	Mn : Fe
Юго-Западное Забайкалье	Сосняк РБ	69 : 10 : 21	40 : 60	72 : 28	85 : 15	33 : 67	79 : 21
	Сосняк КНТ	71 : 8 : 21	41 : 59	73 : 27	82 : 18	32 : 68	77 : 23
Северное Прибайкалье	Сосняк ДР	57 : 17 : 26	44 : 56	83 : 17	92 : 8	65 : 35	83 : 17
	Сосняк БР	61 : 14 : 25	53 : 47	82 : 18	87 : 13	62 : 38	83 : 17

П р и м е ч а н и е. РБ – рододендрово-брусничный; КНТ – ксерофитно-низкотравный; ДР – душики-ево-разнотравный, БР – бруснично-рододендроновый.

Т а б л и ц а 6

**Морфоструктурные параметры крон деревьев сосны обыкновенной на фоновых территориях  
Байкальского региона**

Параметры	Южное Предбайкалье	Юго-Западное Забайкалье	Северное Прибайкалье
Продолжительность жизни хвои, лет	5,3 ± 0,5	5,4 ± 0,5	5,1 ± 0,6
Уровень дефолиации крон, %	25–30	25–30	15–25
Длина побегов 2-го года жизни, см	24,80 ± 0,83	13,95 ± 2,27	14,55 ± 4,53
Охвоенность побега, шт.	271,25 ± 15,90	161,18 ± 34,57	172,24 ± 41,46
Масса хвои на побеге, г	14,69 ± 0,92	6,61 ± 1,36	6,02 ± 0,52
Масса одной хвоинки, мг	54,15 ± 0,81	41,00 ± 1,86	34,95 ± 3,42
Длина хвои, мм	68,75 ± 1,75	54,57 ± 4,41	51,55 ± 6,79
Коэффициент роста хвои	0,79 ± 0,02	0,75 ± 0,04	0,67 ± 0,03

ного, даже на фоновых территориях этот процесс сложный и разнонаправленный, он еще более усложняется в условиях воздействия техногенного атмосферного загрязнения, когда на входе добавляется сильный фактор, оказывающий большое влияние на формирование химического состава древесных растений, в первую очередь за счет фоллиарного поглощения тех элементов, которые входят в состав аэровыбросов.

Нами исследовались древесности разной степени угнетения промузлами: в Южном Предбайкалье – Усольско-Ангарским, в Юго-Западном Забайкалье – Улан-Удэнским, в Северном Прибайкалье – Северобайкальским. Выявлено, что в условиях воздействия промышленных эмиссий тренды содержания элементов в ассимиляционных органах существенно изменяются (рис. 1). В Южном Пред-

байкалье тренд к возрастанию содержания выявляется для фтора, серы, кремния, натрия и тяжелых металлов (свинца, кадмия, цинка, меди, железа), из биогенных элементов несколько возрастает уровень азота, магния и кальция, тренд к снижению содержания выявляется для калия и более резко – для марганца. Похожие тенденции обнаруживаются и для Юго-Западного Забайкалья, но есть различия, например более резкий тренд к снижению уровня марганца и фосфора. В Северном Прибайкалье тренды к увеличению характерны для магния, серы, фтора, меди, свинца, а к уменьшению – для кремния, цинка, калия, марганца; практически не меняются уровни железа и фосфора; неоднозначность тенденций выявляется для азота и натрия. При расчете соотношений элементов обнаружено, что при техногенной на-

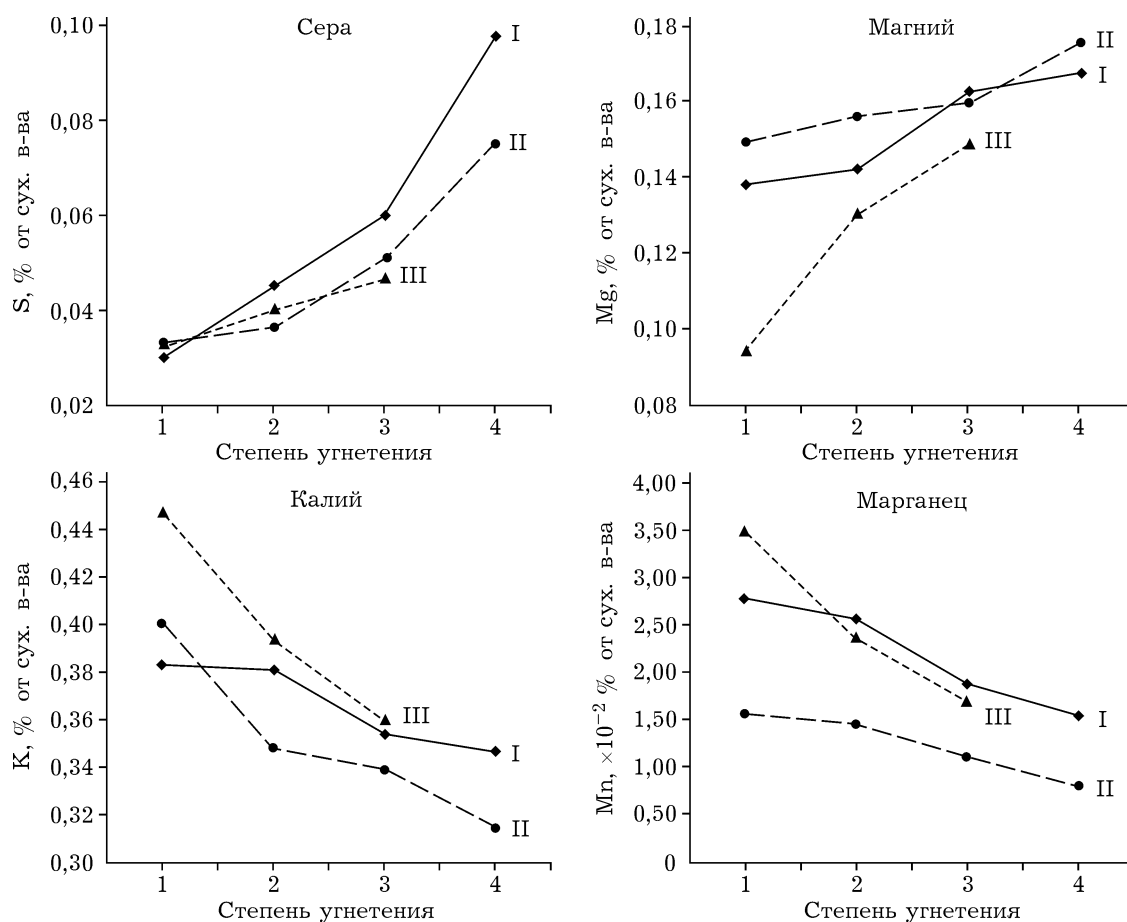


Рис. 1. Тренды содержания элементов в хвое угнетенных деревьев из разных биогеографических районов: I – Южное Предбайкалье, II – Юго-Западное Забайкалье, III – Северное Прибайкалье. Древесности: 1 – фоновые, 2 – слабой, 3 – средней, 4 – сильной степени угнетения

**Морфоструктурные параметры крон деревьев сосны обыкновенной слабой степени угнетения из разных биогеографических районов**

Параметры	Южное Предбайкалье	Юго-Западное Забайкалье	Северное Прибайкалье
Продолжительность жизни хвои, лет	4–5	4–5	4–5
Уровень дефолиации крон, %	30–40	30–40	25–35
Длина побегов 2-го года жизни, см	18,46 ± 3,64	12,95 ± 5,07	10,40 ± 4,71
Охвоенность побега, шт.	233,46 ± 25,35	119,33 ± 6,89	144,00 ± 11,03
Масса хвои на побеге, г	10,62 ± 3,60	4,62 ± 0,20	3,96 ± 0,73
Масса одной хвоинки, мг	45,51 ± 14,21	38,72 ± 2,22	27,50 ± 1,04
Длина хвои, мм	58,86 ± 9,01	52,20 ± 2,84	45,05 ± 2,47
Коэффициент роста хвои	0,77 ± 0,18	0,74 ± 0,16	0,61 ± 0,03

грузке происходит увеличение доли серы, азота, кальция, железа и снижение доли калия, марганца во всех биогеографических районах.

Поскольку в Северном Прибайкалье в настоящее время выявляется преимущественно слабая степень угнетения древостоев техногенными выбросами (средняя степень угнетения наблюдается только на небольших локальных участках), то в сравнительном плане рассматривалась такая же степень угнетения в Южном Предбайкалье и Юго-Западном Забайкалье. Выяснилось, что при сходном накоплении токсикантов (серы, свинца, фтора) изменения биогенных элементов различны. Так, в Предбайкалье незначительно (статистически не значимо) увеличение содержания азота, магния, кальция и снижение калия и марганца, в Забайкалье – статистически значимо снижение азота, калия, марганца, в Северном Прибайкалье значимо изменяется содержание азота, магния, кальция, натрия, марганца, цинка, кремния.

Таким образом, на начальной стадии техногенной дигрессии при определенном повышении уровня элементов-поллютантов наименьшие нарушения питательного статуса древостоев обнаруживаются в Южном Предбайкалье, в Забайкалье нарушения существеннее, а наиболее выражены они в Северном Прибайкалье. В этом же биогеографическом районе наблюдаются и более низкие значения ряда показателей состояния ассимилирующей фитомассы (табл. 7). Полученные данные свидетельствуют о меньшем потенциале физиологической устойчивости

древостоев Северного Прибайкалья. С целью подтверждения этого вывода мы спрогнозировали изменение состояния лесов в Северном Прибайкалье при увеличении объемов выбросов. В настоящее время общий объем атмосферных выбросов Северобайкальского промцентра составляет 3 тыс. т в год [12]. Используя данные по выбросам за несколько лет и зная содержание серы в хвое сосны, мы вывели уравнение зависимости этих параметров:  $y = 0,02x^2 - 0,05x + 2,85$  ( $R^2 = 0,83$ ), где  $y$  – содержание серы,  $x$  – объем выбросов. Исходя из этого уравнения было рассчитано содержание серы в хвое при увеличении объема выбросов в 2 раза, т. е. до 6 тыс. т: оно составило 0,15 % от сухой массы. При таком содержании серы выявляется

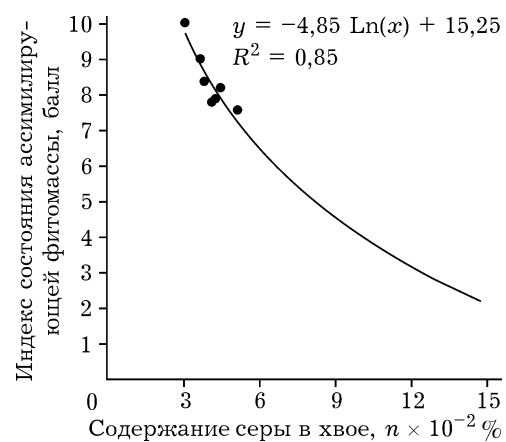


Рис. 2. Зависимость индекса состояния ассимилирующей фитомассы от содержания серы в хвое сосны на территории Северобайкальского промцентра

сильное падение индекса состояния ассимилирующей фитомассы (рис. 2), который рассчитывался по нормированным значениям ряда параметров: количеству зеленой хвои в кроне дерева (в процентах), массе хвои на побегах 2-го года жизни, длине побегов и их охвоенности [19]. Если сравнить этот прогнозируемый уровень серы и соответствующее ему состояние древостоев в Северном Прибайкалье с такими же показателями на других территориях, то выясняется, что в Южном Предбайкалье и Юго-Западном Забайкалье такой уровень серы в хвое и сильная степень угнетения деревьев отмечаются при в десятки раз больших объемах выбросов.

Таким образом, результаты прогнозирования подтверждают вывод о низком адаптивном потенциале насаждений Северного Прибайкалья. Отсюда вытекает и практический вывод – при создании новых промышленных предприятий на севере Прибайкалья не рекомендуется превышать объем выбросов, соответствующий современному для Северобайкальского промузла.

О том, что условия произрастания древостоев оказывают значительное влияние на их устойчивость к техногенной нагрузке, свидетельствуют также данные других авторов. Так, А. С. Плешановым и Т. И. Морозовой [20] показано, что резистентность пихтовых древостоев южного побережья оз. Байкал значительно снижается в условиях повышенного увлажнения, вследствие этого предельно допустимый объем атмосферных выбросов в этом районе не должен превышать 7 тыс. т в год.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования свидетельствуют, что на фоновых территориях большее влияние на изменение трендов содержания химических элементов в ассимиляционных органах сосны обыкновенной оказывает биогеографический фактор, в меньшей степени они изменяются в разных типах леса, приуроченных к одному географическому району. Наибольшая значимость экологического фактора при формировании химического элементного состава ассимилирующей фитомассы сосновых древостоев характерна для Северного Прибайкалья, здесь более выраже-

но варьирование условий произрастания, что сказывается на широком диапазоне фоновых концентраций элементов.

Сильным фактором, изменяющим тренды большинства элементов, является техногенная нагрузка, за счет которой происходит принос в экосистемы элементов-поллютантов. Фолиарное поглощение их вызывает дисбаланс питательного статуса деревьев, это, в свою очередь, приводит к нарушению ростовых процессов и падению продуктивности древостоев. Таким образом, исследование трендов элементов в ассимиляционных органах древесных растений может рассматриваться как одно из главных звеньев при системном анализе жизненного состояния древостоев в природных условиях и при воздействии абиотических факторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока / К. С. Бобкова [и др.]. Сыктывкар, 1993. 176 с.
2. Изменение баланса элементов в хвое сосны обыкновенной при техногенном загрязнении / Т. А. Михайлова [и др.]. // Сиб. экол. журн. 2003. № 6. С. 755–762.
3. Никонов В. В., Лукина Н. В., Фронтасьева М. В. Растения // Рассеянные элементы в бореальных лесах. М.: Наука, 2004. С. 151–187.
4. Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северо-таежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
5. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. М., 1964. 190 с.
6. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.
7. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. 316 с.
8. Воробейчик Е. Л., Садыков О. Ф., Фарафонов М. Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
9. Михайлова Т. А., Плешанов А. С., Афанасьева Л. В. Картографическая оценка загрязнения лесных экосистем Байкальской природной территории техногенными эмиссиями // География и природные ресурсы. 2008. № 4. С. 18–23.
10. Атлас Забайкалья. Москва – Иркутск, 1967. 176 с.
11. Атлас. Иркутская область: экономические условия развития. Москва – Иркутск, 2004. 90 с.
12. Государственный доклад “О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2007 году”. Иркутск: Сибирский филиал ФГУНПП “Росгеолфонд”, 2008. 443 с.



13. Инструкция по экспедиционному лесопатологическому обследованию лесов СССР. М.: Гослесхоз СССР, 1983. 234 с.
14. Методика организации и проведения работ по мониторингу лесов СССР. Пушкино: ВНИИЛМ, 1987. 45 с.
15. Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Hamburg, Prague: United Nations Environment Programmer and Economic Commission for Europe, 1994. 477 p.
16. Физико-химические методы при определении макро- и микроэлементов в объектах окружающей среды / О. А. Пройдакова [и др.] // Геохимия техногенеза. Новосибирск: Наука, 1986. С. 124–130.
17. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 430 с.
18. Ивлев А. М. Биогеохимия. М.: Высш. шк., 1986. 127 с.
19. Трансформация ассимиляции углерода в древостоях, ослабленных промышленными эмиссиями / Т. А. Михайлова [и др.] // Сиб. экол. журн. 2005. № 4. С. 745–751.
20. Плешанов А. С., Морозова Т. И. Микромицеты пихты сибирской и атмосферное загрязнение лесов. Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2009. 115 с.

## **Trends of Chemical Element Content in the Needles of Scotch Pine (*Pinus sylvestris* L.) under Different Natural Conditions and Emission Load**

T. A. MIKHAILOVA, O. V. KALUGINA, L. V. AFANASYEVA\*, O. I. NESTERENKO

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS  
664033, Irkutsk, Lermontov str., 132  
E-mail: mikh@sifibr.irk.ru*

*\*Institute of General and Experimental Biology SB RAS  
670047, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6  
E-mail: afanl@mail.ru*

The studies were conducted in different parts of the Baikal Region – Southern Prebaikalia, South-Western Transbaikalia, and Northern Prebaikalia. It was shown that the biogeographical conditions have a greater effect on alteration of the trends of chemical elements concentrations, while they exhibit smaller changes in different forest types in the same geographical region. However, the most significant factor causing misbalance of the majority of elements is the emission load. It is concluded that the investigation of the trends of elements contents in assimilating organs of trees serves as the most important link in the system analysis of the vital state of tree stands under natural conditions and under the action of abiotic factors.

**Key words:** the Baikal Region, *Pinus sylvestris*, element trends in needles, technogenic digression.