

ОРИГИНАЛЬНЫЕ  
СТАТЬИ

УДК 630\*11+630\*160.21+630\*416.16

**УСЫХАНИЕ ПИХТОВО-КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ  
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ\***

© 2013 г. **Е. В. Бажина<sup>1</sup>, В. П. Сторожев<sup>2</sup>, И. Н. Третьякова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН  
660036 Красноярск, Академгородок, 50/28  
E-mail: genetics@ksc.krasn.ru

<sup>2</sup>Национальный парк Шушенский бор  
662710 Красноярский край, пгт. Шушенское, ул. Луговая, 9  
Поступила в редакцию 24.05.2010 г.

Проведена комплексная оценка пихтОВО-кедрОВых древостоев в горах Кузнецкого Алатау. Выявлено, что сильно поврежденные биоценозы сосредоточены в районах средне- и высокогорья на склонах западной экспозиции и для них характерно интенсивное усыхание пихты сибирской. Как показали исследования в древостоях, характеризующихся низким индексом жизненного состояния, наблюдается накопление в хвое деревьев сульфатов и ртути, а также снижение содержания цинка.

*Лесные биоценозы, техногенные загрязнения, пихта сибирская, кедр сибирский.*

В последние десятилетия в числе вопросов первостепенной важности рассматривается региональная деградация лесов [12, 14, 36]. Ухудшение состояния деревьев проявляется в падении радиального прироста, усыхании крон деревьев, их дехромации и дефолиации. Предполагается, что деградация лесов обусловлена влиянием комплекса повреждающих физико-химических и биологических факторов в сочетании с фитотенотическими: вековыми сменами растительности, древностью хвойных, повышенной чувствительностью их к условиям среды, в частности, к изменениям климата, загрязнению, грибным эпифитотиям и др. Лесные древесные виды адаптировались к различным биотическим и абиотическим факторам на протяжении всего голоцена. В условиях резкого антропогенного изменения среды лесные древесные виды оказались не устойчивыми к новым повреждающим факторам, что привело к частичному или полному разрушению древесных популяций [29].

В горах Кузнецкого Алатау и Горной Шории деградации подвержены более 450 тыс. га горных экосистем, произрастающих к востоку от Южно-

Кузбасского промышленного района [2, 4, 12]. Основные массивы усыхающих и сильно ослабленных насаждений находятся в закрытых горными хребтами котловинах, ослабленные древостои – в более открытых и продуваемых ветрами частях региона. Оценка качества среды в горах Кузнецкого Алатау по содержанию токсикантов в снежном покрове [19] показала достаточно низкий уровень загрязнения данного региона. Однако долговременное воздействие даже низких концентраций поллютантов и, в частности тяжелых металлов, может привести к аккумуляции их в хвое древесных растений [10, 17, 34, 36]. Очевидно, для выяснения причин усыхания и прогноза развития экосистем необходим тщательный анализ региональных условий и особенностей повреждения деревьев. При анализе жизненного состояния древостоев для диагностики питательного режима лесных фитоценозов, а также выявления дефицита или токсичности элементов для растений, наряду с морфологическими показателями, широко используют элементный состав хвои [10, 11, 13, 17, 18, 32–34, 36].

Цель настоящего исследования – выявление особенностей и причин повреждения темнохвойных лесов (*Abies sibirica* Ledeb. и *Pinus sibirica* Du Tour.) в горах Кузнецкого Алатау.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 11-04-00281) и Красноярского краевого фонда науки (№ 09-04-98000 р\_сибирь-а).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводились в южной части нагорья Кузнецкий Алатау (район заповедника “Кузнецкий Алатау”) в 2007-2008 гг. Климат района континентальный, господствуют западные с южной составляющей ветры, что определяет загрязнение района предприятиями Южного Кузбасса, отстоящими на 80–120 км к западу, и влиянием дальнего переноса токсикантов промышленных центров Алтайского края, расположенных на расстоянии 180–280 км. Основными загрязняющими веществами техногенного происхождения являются оксиды серы, углерода, азота, углеводороды, 4-бенз(а)пирен, различные соединения металлов, кремния, цианиды, фториды [4, 8].

Для оценки состояния темнохвойных лесов были заложены пробные площади (пр. пл.) на различных абсолютных высотах: в бассейне рек Кия (пр. пл. 3, 4) и Уса (пр. пл. 5–10), на хр. Бархатный (пр. пл. 2) и в непосредственной близости от Белогорского нефелинового рудника (пр. пл. 1) в пихтарниках подгольцовых, разно- и крупнотравной группах типов леса (табл. 1). На пробных площадях проведена оценка жизненного состояния деревьев согласно методике В.А. Алексева [1], отобраны модельные деревья пихты сибир-

ской разных категорий состояния [25]. На каждой пробной площади в конце вегетационного периода (август) с 10 модельных деревьев кедра и пихты 90–210 летнего возраста из верхней трети кроны отбиралось по 300 г 3–4-летней хвои. Хвоя высушивалась в специальном помещении без доступа солнца до воздушно-сухого состояния. Анализ проб проводился в ФГУ “Государственная станция агрохимической службы “Хакасская” в соответствии с [5–7, 15, 16]. Хвоя сжигалась в муфельной печи при температуре 500–525 °С без разделения на возрастные классы. Определение содержания фтора проводилось на иономере И-130; цинка, меди, свинца, кадмия – на вольтамперометрическом анализаторе ТА-2; серы и мышьяка – фотокolorиметрическим методом на фотокolorиметре КФК-3-01; ртути – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре “Квант-АФА”. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Statistica 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Жизненное состояние лесных биоценозов.* В районе исследований преобладают поврежденные лесные биогеоценозы с индексом жизненного состояния 46.4–79.1 (табл. 1). В данных биоце-

**Таблица 1.** Индекс жизненного состояния лесных биоценозов Кузнецкого Алатау

Пр.пл.	Экспозиция склона	Высота над ур. моря., м	Состав древостоя	Тип леса	Индекс жизненного состояния	Класс лесных биоценозов *
1	Северо-западный наветренный	850	9П1К	Пихтарник разнотравный	46.4	Сильно поврежденные
2	Северо-восточный подветренный	567	6П4К	Пихтарник разнотравный	57.5	Поврежденные
3	Юго-западный наветренный	778	9П1К	Пихтарник разнотравный	54.3	Поврежденные
4	Северо-западный наветренный	1000	6П4К	Пихтарник подгольцовый	50.2	Поврежденные
5	Северо-восточный подветренный	713	9П1К	Пихтарник разнотравный	92.3	Ненарушенные
6	Северо-западный наветренный	765	9П1К	Пихтарник мохово-разнотравный	59.0	Поврежденные
7	Юго-западный наветренный	799	9П1К	Пихтарник разнотравный	71.9	Поврежденные
8	Юго-восточный подветренный	768	8П2К	Пихтарник подгольцовый	79.1	Поврежденные
9	Юго-западный наветренный склон	1248	9П1К	Пихтарник подгольцовый	71.5	Поврежденные
10	Северо-западный наветренный склон	920	9П1К	Пихтарник крупнотравный	65.6	Поврежденные

Примечание: П – пихта; К – кедр.

\* По [1].

Таблица 2. Характеристика модельных деревьев пихты сибирской

Пр.пл.	Категория усыхания дерева	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр на 1,3 м, см	Протяженность ярусов, м			Протяженность усохшей части, м	Средний угол, град.		
					женский	мужской	вегетативный		женский ярус	мужской ярус	вегетативный ярус
1	Сильное усыхание	120	24	25.0	0.90	15.3	3.63	12.4	81±1.38	99±2.2	128±2.9
1	Сильное усыхание	200	18	32.0	1.37	4.78	8.02	5.4	58±3.07	101±1.3	123±1.9
2	Среднее усыхание	200	19	32.0	1.70	5.70	9.10	1.82 (нижняя часть кроны)	61±4.17	84±1.4	110±2.1
2	Слабое усыхание	150	14.9	25.0	2.90	2.40	6.00	0.1	70±1.72	87±2.2	92±1.8
3	Здоровое	110	13.9	18.0	0.50	–	8.06	0	62±2.3	–	87±1.6
3	Сильное усыхание	185	17.4	28.0	1.20	6.74	6.59	3.3	91 ±1.75	92±2.3	87±1.6
4	Сильное усыхание	145	11.0	24.0	0.80	3.47	2.38	3.5	45±3.00	98±2.4	110±2.6
4	Среднее усыхание	150	12.1	21.0	1.60	4.76	3.22	1.9	74±2.11	88±2.3	99±3.5
В среднем*		$158 \pm 12.2$ 21.8	$16 \pm 1.5$ 26.3	$25 \pm 2.0$ 20.1	$1.4 \pm 0.26$ 73.0	$6.6 \pm 1.83$ 68.0	$5.9 \pm 0.89$ 42.7	$5.2 \pm 1.87$ 80.0	$63 \pm 4.0$ 17.6	$93 \pm 4.2$ 9.0	$112 \pm 7.6$ 15.2

Примечание: \* В числителе – средние значения, в знаменателе – коэффициент вариации, %.

нозах происходит интенсивное усыхание пихты сибирской: снижается длина хвои, появляются некрозы и хлорозы, падает урожайность шишек и качество семян. В большей степени повреждаются биоценозы, растущие в верхних частях гор и на наветренных склонах северо-западных экспозиций. Максимальное повреждение отмечается в непосредственной близости от действующего нефелинового рудника (г. Белогорск, пр. пл. 1), где у деревьев кедра осталось лишь несколько живых ветвей в верхней части кроны, у деревьев пихты усохла большая часть кроны, они относятся к третьей и четвертой категориям усыхания [25]. Ненарушенные биоценозы отмечены на северо-восточном подветренном склоне (бассейн р. Уса, кордон “Базан”).

Анализ модельных деревьев показал, что у пихты сибирской сохраняются видовые особенности: узкопирамидальная форма кроны, ярко выраженная апикальная доминантность и плагиотропизм ветвей, ярусность кроны по типам сексуализации [25]. Протяженность генеративных ярусов у модельных деревьев составляла: женского – от 0.5 до 1.7 м, мужского – от 0 до 15.3 м, вегетативный ярус занимал от 2.38 до 9.10 м (табл. 2). У деревьев пихты сибирской, растущих на пр. пл. 2 и 5 усыхание происходит по всей кроне, иногда в большей степени повреждается нижняя часть кроны. В горных лесах (выше 600 м над ур. моря) наблюдается характерный для данного вида “подверхушечный” тип усыхания: на расстоянии 0.8–3.5 м от вершины дерева появляется зона усыхания, уменьшаются численность хвои на единицу побега и ее длина, увеличивается угол отхождения ветвей от оси ствола. Категория усыхания не зависит от возраста дерева. Начало усыхания модельных деревьев датируется 1991–1999 гг. Несмотря на то, что повреждение деревьев в горах Кузнецкого Алатау началось гораздо позже, чем на хребте Хамар-Дабан, усыхание идет более интенсивно – протяженность усохшей части у отдельных деревьев достигает 12.4 м (более 62% общей протяженности кроны). Усыхание кедра сибирского происходит по классическому для хвойных типу. Пожелтение и усыхание хвои наблюдается по всей кроне дерева, уменьшаются ее численность на побеге и длина, что приводит к изреживанию кроны.

В хвое кедрa и пихты содержание фтора, серы и тяжелых металлов в большинстве проб (табл. 3) ниже порога токсичности и не превышает эту величину для незагрязненных почв и фоновых районов Сибири [10, 11, 22]. Исключение составляет ртуть – один из самых опасных токсикантов био-сферы, содержание которой, как правило, превы-

**Таблица 3.** Содержание в хвое кедр и пихты фтора, серы и тяжелых металлов (в пересчете на сухое вещество), мгкг<sup>-1</sup>

Пр.пл.	Содержание элементов						Фтор	Сера (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )
	Zn	Cu	Cd	Pb	As	Hg		
Кузнецкий Алатау								
1	22.97	2.84	0.087	2.25	0.022	0.100	3.71	1950
2	29.88	2.98	0.087	2.84	0.120	0.044	4.20	2400
	28.40	1.57	0.185	1.47	0.007	0.096	2.18	1175
5	23.25	2.11	0.080	1.29	0.030	0.030	1.96	1626
	28.17	1.8	0.097	1.01	0.044	0.050	2.41	390
6	31.56	1.43	0.081	0.74	0.040	0.080	0.34	390
	17.77	1.63	0.080	0.65	0.040	0.049	0.40	675
7	4.96	1.25	0.030	0.34	0.059	0.080	0.65	1650
	23.60	1.36	0.058	0.87	0.096	0.075	0.41	390
8	31.94	1.23	0.049	1.12	0.061	0.079	0.30	690
	33.04	1.21	0.075	0.69	0.091	0.073	0.40	390
9	32.99	1.83	0.053	1.15	0.015	0.018	0.38	750
	31.45	1.59	0.034	0.80	0.044	0.071	0.38	390
10	26.71	1.88	0.042	1.61	0.017	0.018	0.51	390
	33.27	1.16	0.087	1.08	0.024	0.072	0.80	390
	26.03	1.38	0.032	1.18	0.039	0.088	0.35	390
Фоновые районы Сибири*								
	44	1.8	0.11	0.49	0.01	0.01	2.0	1150
	37–130	2.1–5.1	0.05–0.08	0.84–8.0	0.014	0.018	1.1	1050
Нормальное содержание в разных растениях								
	15–150**	3–40**	0.05–0.2**	0.1–5.0**	0.1–1.0**	0.001–0.01**	5.0***	19.5–536****

Примечания: Числитель – кедр, знаменатель – пихта.

\* По [22].

\*\* По [35].

\*\*\* По [8].

\*\*\*\* По [3].

шает фоновое в 4–10 раз. Кроме того, в сильно поврежденном биоценозе (пр. пл. 1) в хвое кедр повышено содержание меди, свинца, мышьяка, фтора и серы, а в хвое пихты – мышьяка, кадмия, ртути, фтора и серы. Накопление ртути отмечено также на пр. пл. 2–7 и 10, серы – на пр. пл. 2, 6. В биоценозах с низким индексом жизненного состояния (пр. пл. № 1, 2, 6) отмечено снижение содержания цинка, играющего важную роль в метаболизме растений и накопление серы. В то же время, единственный ненарушенный биоценоз (пр. пл. 5) характеризуется низким содержанием в хвое серы при достаточно высоком содержании цинка. Выявлены отрицательные корреляции между состоянием древостоев и содержанием в хвое кадмия, ртути и серы (коэффициенты корреляции  $r = -0.52$ – $-0.58$  и  $-0.78$ , соответственно, при уровне значимости  $p = 0.05$ ). Анализ почвы и подстилки [23], собранных на пр. пл. 5–10 выявил значимые ( $p = 0.05$ ) корреляции между содержанием элементов в почве и хвое только для кедр и меди ( $r = -0.94$ ), в подстилке и хвое

пихты – для мышьяка ( $r = -0.97$ ). Установлено также, что с увеличением абсолютной высоты в почве накапливаются кадмий – до  $0.83$  мг кг<sup>-1</sup>, свинец – до  $40.34$  мг кг<sup>-1</sup> и сера – до  $15.12$  мг кг<sup>-1</sup> (коэффициенты корреляции –  $r = 0.90$ – $0.92$ , при  $p = 0.05$ ), и эти значения превышают фоновый уровень [20, 22]. Однако концентрации элементов в хвое при этом не увеличиваются, что может быть обусловлено избирательностью их поглощения. Как показано ранее, при загрязнении среды тяжелыми металлами (Zn, Cu, Pb, Cd) в хвое пихты сибирской наблюдалось преимущественное накопление меди (коэффициент биологического поглощения – 1.5–13), а в хвое кедр – меди и свинца (6.3 и 3.0, соответственно) [27].

Усыхание темнохвойных лесов (*Abies sibirica* Ledeb. и *Pinus sibirica* Du Tour) неизвестной этиологии наблюдается в горах Южной Сибири со второй половины XX в. [25]. Анализ климатических особенностей горных систем Южной Сибири позволил Н.П. Поликарпову с соавт. [21]

дать прогноз динамики повреждения пихтовых лесов: в связи с особенностями переноса воздушных масс и перехвата осадков горными склонами следует ожидать концентрированного осаждения техногенных выбросов в верхних частях горных систем избыточно влажных районов. Наибольшая опасность повреждения создается в Кузнецком Алатау, в горно-таежных лесах северо-восточных отрогов Западного Саяна и западных отрогов Восточного Саяна. Не отрицая влияния загрязнения среды, В.А. Алексеев [2] основной причиной деградации пихтовых лесов нагорья Кузнецкий Алатау считает массовое развитие раковых заболеваний, вызываемое *Melampsorella cerastii* Wint. и *Durandiella sibirica* Chabounine. Однако исследования, проведенные в Байкальском регионе, показали, что интенсивное заражение пихты сибирской сердцевинными гнилями (до 92% обследованных деревьев) и раково-некротическими заболеваниями крон (90–100%) обусловлено загрязнением среды в комплексе с погодными факторами [25].

Основным условием нормального роста и развития живых организмов является сбалансированность их химического состава, который формируется под действием генетического и экологического факторов [10, 11, 17, 18]. Настоящие исследования показали, что в древостоях, характеризующихся низким индексом жизненного состояния, наблюдается изменение элементного состава растений: накопление в хвое серы и ртути, а также снижение содержания цинка – элемента-биофила, необходимого для синтеза ферментов, участвующих в углеводном, фосфорном и белковом обменах [11]. Аналогичное уменьшение содержания цинка в хвое наблюдалось в дефолирующих лесах Кольского полуострова [13, 24]. Снижение содержания цинка в ассимилирующих тканях растений при загрязнении объясняется явлением антогонизма между ионами цинка и меди [10, 26]. Увеличение содержания экзогенного сульфата свидетельствует о дисбалансе систем регуляции поглощения и потребления серы в условиях комплексного загрязнения [3, 37].

Содержание элементов в ассимилирующих органах растений в значительной степени определяется поглощением из почвы и атмосферы [11, 32–37, 39]. Настоящие исследования показали, что достоверная связь между валовым содержанием элемента в почве и хвое характерна только для меди. Вместе с тем, накопление ртути и серы в хвое не связано с их содержанием в почве, очевидно, вследствие избирательности их поглощения или атмосферного осаждения. Известно, что в случае одновременного загрязнения воздуха

и почвы фтором более активно он поглощается растениями из воздуха, вызывая повреждение и разрушение клеток мезофилла, уменьшение их содержимого, увеличение проницаемости мембран [11]. В настоящее время экспериментально доказано также, что в условиях загрязнения у сосны обыкновенной преобладает сорбционное поглощение металлов листовой поверхностью из воздуха [26]. Адсорбируясь на поверхности растений, тяжелые металлы вызывают уменьшение гетерогенных восков и способны проникать внутрь клеток, изменяя их физико-химические характеристики и физиологическое состояние [28, 33]. Эксперименты по фумигации семян ели отработанными газами (тяжелыми металлами) показали нарушение структуры воскового слоя на поверхности хвои и закупорку устьиц, ингибирование их закрытия и диффузивной резистентности в ночное время, изменение баланса ионов Са и Mg, фосфорного питания, азотного обмена [39]. Одновременно происходили агрегация и изменение электронной проницаемости пластоглобул, набухание тилакоидов, повышение содержания цитоплазматических липидов и слабое усиление везикуляции цитоплазмы мезофильных клеток в хвое, причем эффект усиливался пропорционально концентрациям оксидов в газах. В хвое пихты белой (*Abies alba* Mill.) при загрязнении тяжелыми металлами (Pb, Cu, Zn) наблюдалось накопление танинов и полифенольных компонентов в эпидермисе и гиподермальных клетках ассимиляционных тканей, повреждение проводящей паренхимы хвои и флоэмы, что предполагает массивное прохождение тяжелых металлов через сосуды, различная степень разрушения эпикутикулярного воска надустьичного кольца; клетки эпидермиса и устьица в загрязненной зоне иногда были покрыты твердыми осадками [31].

Основной поток токсикантов рассеивается за пределами зоны, которая обычно рассматривается как загрязненная и уверенно фиксируется анализами почвы [10]. В частности, показано, что большая часть переносимых по воздуху выбросов ртути распространяется на десятки километров от источника загрязнения [30], тогда как повышенная концентрация элемента в почвах ограничивается расстоянием 5–6 км, максимальная – 3–3.5 км [9]. Вполне вероятно, что в горных экосистемах, как и в условиях города [18], обогащение листьев и хвои древесных растений тяжелыми металлами происходит преимущественно атмосферным путем [36, 37]. Загрязнение удаленных от источников выбросов территорий Кузнецкого Алатау объясняется переносом поллютантов, производимых в Южном Кузбассе, на западные склоны хребта в

области разгрузки влагосодержащих воздушных масс, обогащенных токсическими компонентами [4]. Кроме того, в горных экосистемах могут развиваться синергетические аддитивные эффекты комплекса повреждающих факторов. В частности, показано, что комбинация УФ-радиации и загрязнения тяжелыми металлами давала аддитивный эффект на прирост и биохимические характеристики шпината [38].

**Заключение.** В лесных экосистемах Кузнецкого Алатау преобладают поврежденные лесные биогеоценозы. В большей степени повреждаются деревья, растущие в верхних частях гор и на наветренных склонах западных экспозиций. Усыхание деревьев пихты происходит более интенсивно, чем в горах хребтов Хамар-Дабан, Западный и Восточный Саян. Особенности расположения ослабленных насаждений, а также изменения элементного состава хвои деревьев подтверждают предположение о техногенных причинах повреждения темнохвойных лесов в горах Кузнецкого Алатау.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
2. Алексеев В.А., Астапенко В.В., Басова Ю.Г., Бондарев А.И., Лузанов В.Г., Отнюкова Т.Н., Яновский В.М. Состояние пихтовых лесов Кузнецкого Алатау // Лесн. хоз-во. № 4. 1999. С. 51–53.
3. Барахтенова Л.А. Диагностика устойчивости основных лесов при техногенном загрязнении. Ч. III. Пороговые концентрации серы // Сиб. биол. журн. 1992. Вып. 1. С. 38–44.
4. Баранник Л.П., Николайченко В.П., Салагаев А.Ф., Егоров В.Н., Лузанов В.Г. Экологическое состояние лесов Кузбасса. Кемерово, КРЭОО “Ирбис”. 2005. 135 с.
5. ГОСТ 26490-85. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО. М.: Госстандарт СССР, 1985. 4 с.
6. ГОСТ 26927-90. Сырье и пищевые продукты. Методы определения ртути. 1990. М.: Госстандарт СССР, 1986. 15 с.
7. ГОСТ 26930-86. Сырье и пищевые продукты. Методы определения мышьяка. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с.
8. Государственный доклад “О состоянии и охране окружающей природной среды Кемеровской области в 2008 году”. <http://gosdoklad.kuzbasseco.ru/2008/index.html>
9. Звонарев Б.А., Зырин Н.Г. Закономерности распределения ртути в почвах вблизи источника загрязнения // Почвоведение. 1984. № 4. С. 32–39.
10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях М.: Мир, 1989. 439 с.
12. Ковалев Б.И. Мониторинг пихтовых лесов Кузнецкого Алатау и Горной Шории // Лесн. хоз-во. 1998. № 1. С. 39–41.
13. Лукина Н.В., Черненко Т.В. Техногенные сукцессии в лесах Кольского полуострова // Экология. 2008. № 5. С. 329–337.
14. Манько Ю.И., Гладкова Г.А. О факторах усыхания пихтово-еловых лесов на Дальнем Востоке // Лесоведение. 1995. № 2. С. 3–12.
15. Методические указания по ионометрическому определению содержания фтора в растительной продукции, кормах и комбикормах. М: Минсельхоз, 1995. 10 с.
16. Методические указания по определению тяжелых металлов (цинк, медь, свинец, кадмий) в почвах и продукции растениеводства. М., ЦИНАО, 1990. 61 с.
17. Михайлова Т.А., Калугина О.В., Афанасьева Л.В., Нестеренко О.И. Тренды содержания химических элементов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в разных условиях произрастания и при техногенной нагрузке // Сиб. экол. журн. 2010. № 2. С. 239–247.
18. Неверова О.А. Химический состав хвои ели сибирской в условиях техногенного загрязнения г. Кемерово // Сиб. экол. журн. 2002. № 1. С. 59–65.
19. Новоселова Е.Е., Шишикин А.С., Бабина С.Г., Бондарь М.Г., Истомин С.В., Коловский Р.А., Макеева Е.Г., Чумаков С.В. Оценка загрязнения природной среды ООПТ Алтае-Саянского экорегиона на основе определения содержания в снежном покрове токсических поллютантов // Мониторинг биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского региона. Науч. тр. Ассоциации заповедников и национальных парков Алтае-Саянского экорегиона / Отв. ред. Анкипович Е.С. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. Вып. 1. С. 69–74.
20. Обзор фоновое состояние окружающей среды на территории стран СНГ за 2006г. / Под ред. Изразля Ю.А. Росгидромет, 2008. 86 с.
21. Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука. 1986. 226 с.
22. Санина Н.Б., Филиппова Л.А., Юркова И.В., Чупарина Е.В. Особенности химического состава растительности Приольхонья // География и природные ресурсы. 2008. № 1. С. 75–83.
23. Сторожев В.П., Третьякова И.Н., Бажина Е.В., Мельков А.П., Кобзарь Д.Н., Чумаков С.В. Оценка жизненного состояния кедровых и пихтовых лесов ООПТ Алтае-Саянского региона. // Мониторинг

- биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского региона. Науч. тр. Ассоциации заповедников и национальных парков Алтае-Саянского экорегиона / Отв. ред. Анкипович Е.С. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. Вып. 1. С. 62–68.
24. Сухарева Т.А., Лукина Н.В. Химический состав и морфометрические характеристики хвои ели сибирской на Кольском полуострове в процессе деградиционной сукцессии лесов // Лесоведение. 2004. № 2. С. 36–43.
  25. Третьякова И.Н., Бажина Е.В. Морфоструктура кроны и состояния генеративной сферы у пихты сибирской в нарушенных лесных экосистемах близ озера Байкал // Известия РАН. Сер. биол. 1995. № 6. С. 685–692.
  26. Черненкова Т.В. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных местообитаниях // Лесоведение. 2004. № 2. С. 25–35.
  27. Шурова М.В. Эколого-геохимическая оценка природной среды в районе рудника “Веселый” (Республика Алтай). Автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук. 25.00.36. Томск, 2006. 15 с.
  28. Bacic T., Karstin L., Rosa J., Popovic Z. Epicuticular wax on stomata of damaged silver fir trees (*Abies alba* Mill.) // Acta Soc. Bot. Polon. 2005. V. 74. P. 159–166.
  29. Bergman F., Scholz F. Selection effects of air pollution in Norway spruce (*Picea abies*) populations // Genetic effects of air pollutants in forest tree populations // Proc. of the Joint meeting of the IUFRO working parties genetic aspects of air pollution and ecological genetics. Biochemical Genetics. Berlin; Heidelberg; N.-Y.; London; Paris; Tokyo; Hong Kong: Springer-Verlag, 1987. P. 77–88.
  30. Bull K.R., Roberts R.D., Inskip M.J., Goodman G.T. Mercury concentrations in soil, grass, earthworms and small mammals near an industrial emission source // Environ Pollut. 1977. V. 12. P. 135–140.
  31. Gostin I. Structural changes in silver fir needles in response to air pollution // Analele Universitatii din Oradea – Fascicula Biologie. 2010. V. XVII. Is. 2. P. 300–305.
  32. Greger M. Metal availability, uptake, transport and accumulation in plants // Heavy metal stress in plants from biomolecules to ecosystems / Ed. Prasad M.N.V. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. P. 1–27.
  33. Koev K., Dimitrova I., Petrova M. Scanning electron microscope research of the leaf surface of tree species in conditions of industrial pollution // Phytol. Balcan. 1997. N 2–3. P. 177–181.
  34. Kord B., Mataji A., Babaie S. Pine (*Pinus Eldarica* Medw.) needles as indicator for heavy metals pollution // Int. J. Environ. Sci. Tech. 2010. V. 7. N 1. P. 79–84.
  35. Melsted S.W. Soil-plant relationships // Recycling municipal sludges and effluents on land. Washington: Nat. assoc. of state universities and land grant colleges, 1973. P. 121–128.
  36. Rademacher P. Atmospheric heavy metals and Forest Ecosystems. Hamburg: BFH, 2003. 19 p.
  37. Rautio P. Nutrient alterations in Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) under sulphur and heavy metal pollution. Oulu: Oulun Yliopisto, 2000. 20 p.
  38. Shweta Mishra, S.B. Agrawal. Interactive effects between supplemental ultraviolet-B radiation and heavy metals on the growth and biochemical characteristics of *Spinacia oleracea* L. // Braz. J. Plant Physiol. 2006. V. 18. N 2. P. 307–314.
  39. Viskari E.L. Epicuticular Wax of Norway Spruce needles as indicator of traffic pollutant deposition // Water, Air, Soil Pollution. 2000. V. 121. N 1–4. P. 327–337.

## Dieback of Fir-Siberian Stone Pine Forests under Technogenic Pollution in the Kuznetsky Alatau Mountains

**E. V. Bazhina, V. P. Storozhev, I. N. Tret'yakova**

A complex assessment of fir-Siberian Pine stands in the Kuznetsky Alatau mountains was accomplished. Strongly damaged biocenoses were found to concentrate in the middle and high mountains on the west-facing slopes; there, Siberian fir intensely dry. Our studies in the stands with the low index of life status showed that sulfates and mercury accumulated in the tree needles, and the zinc content decreased.

*Forest biocenoses, technogenic pollution, Siberian fir, Siberian stone pine.*