



УДК 581.5(581.6)

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.54.83>

Морфометрическая диагностика техногенной деградации хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в промышленных ландшафтах Иркутской области (Восточная Сибирь)

Е. А. Верещагина*

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия
E-mail: zizograf1@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты морфометрической оценки изменений ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях множественного воздействия различных источников загрязнения на территории Иркутской городской агломерации. Проанализирована структура поражений хвои с использованием первичного, вторичного и третичного морфометрических маркеров, а также интегрального фитотоксического маркера по градиенту от зон загрязнения к фоновым.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, фитометрические маркеры, индекс фитотоксичности, морфологический барьер, Иркутская городская агломерация.

Для цитирования: Верещагина Е. А. Морфометрическая диагностика техногенной деградации хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в промышленных ландшафтах Иркутской области (Восточная Сибирь) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2025. Т. 54. С. 83–91. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.54.83>

Short communication

Morphometric Diagnostics of Technogenic Degradation of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Needles in Industrial Landscapes of Irkutsk Region (East Siberia)

Е. А. Vereshchagina*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. Atmospheric air is a critical component of the environment, and its quality determines public health and ecosystem stability. In conditions of intensive urbanization and industrialization, monitoring of atmospheric pollution becomes particularly significant for territories with high concentrations of industrial enterprises, transport arteries, and communal emission sources. This study presents the results of a morphometric assessment of the assimilation apparatus of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under conditions of multiple exposure to various pollution sources in the Irkutsk urban agglomeration. Morphometric analysis of needle length was conducted across six settlements differentiated by the type of dominant anthropogenic impact. A reference point was selected at a 30 km distance from pollution centers. Six observation points were established along transects following the

© Верещагина Е. А., 2025

*Полные сведения об авторе см. на последней странице статьи.

For complete information about the author, see the last page of the article.

“pollution source – background biotope” gradient in each settlement. The study revealed significant spatial differentiation of the anthropogenic field within the agglomeration. In zones with maximum contaminant influence (towns of Shelekhov and Usolye-Sibirskoye), substantial deviations in morphophysiological parameters were observed, including reduction in brachyblast length and manifestation of phytotoxicity symptoms (chloroses, necroses). The research demonstrates that morphometric parameters of Scots pine needles serve as sensitive bioindicators of technogenic stress in industrial landscapes. The observed morphological changes reflect adaptive responses of the assimilation apparatus to chronic atmospheric pollution, confirming the effectiveness of phytometric markers for environmental monitoring in urban agglomerations with complex emission sources.

Keywords: Scots pine, phytometric markers, phytotoxicity index, morphological barrier, Irkutsk urban agglomeration.

For citation: Vereshchagina E.A. Morphometric Diagnostics of Technogenic Degradation of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Needles in Industrial Landscapes of Irkutsk Region (East Siberia). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2025, vol. 54, pp. 83-91. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2025.54.83> (in Russian)

В условиях интенсивной урбанизации и индустриализации мониторинг загрязнения атмосферы приобретает особое значение для территорий с высокой концентрацией промышленных предприятий, транспортных магистралей и коммунально-бытовых источников эмиссии. В индустриальных агломерациях Приангарья антропогенная трансформация атмосферной среды приобретает синергический характер, когда комбинированное воздействие фторидов, бенз(а)пирена, тяжёлых металлов и кислотообразующих соединений формируют уникальные зоны экологического риска.

Наиболее крупная в регионе Иркутская городская агломерация простирается вдоль долины р. Ангары на протяжении более 120 км и объединяет крупнейшие города региона: Иркутск (административный центр), Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское и ряд малых городов и посёлков, формируя единое социально-экономическое и экологическое пространство [Иркутская ... , 1993]. Агломерация концентрирует значительный техногенный потенциал: здесь локализованы мощности цветной металлургии (Иркутский алюминиевый завод–ИрКАЗ), нефтепереработки (Ангарская нефтехимическая компания), химического производства (бывший «Усольехимпром»), авиапрома (Иркутский авиационный завод).

Рельеф территории представлен широкой поймой р. Ангары, ограниченной с севера Приангарским плато, а с юга – хребтами Восточного Саяна. Расположение долины создаёт специфические условия атмосферной циркуляции: преобладание долинных ветров в зимний период способствует транспорту загрязнителей вдоль речной оси, тогда как горные хребты выполняют функцию естественных барьеров, ограничивающих поперечное рассеивание выбросов [Иркутская ... , 1993].

В условиях множественного воздействия загрязняющих компонентов традиционные методы химического мониторинга атмосферы сталкиваются с методологическими ограничениями: высокая вариабельность концентрации загрязняющих веществ во времени, синергические эффекты смесевых воздействий, сложность идентификации доминирующих токсикантов¹. В связи с

¹ ГОСТ Р 56166-2019. Качество атмосферного воздуха. Метод определения экологических нормативов на примере лесных экосистем. М. : Стандартинформ, 2019. 8 с.

этим биоиндикационные подходы, основанные на интегральной реакции организмов-индикаторов, приобретают статус альтернативной оценки экологического состояния.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) часто используется как модельный объект изучения влияния техногенного фактора благодаря морфологической консервативности ассимиляционных органов, выраженной чувствительности к атмосферным стрессорам и широкому экологическому валентному диапазону [Реймерс, 1990; Собчак, 2009]. Хвоя сосны демонстрирует каскадную реакцию на техногенные загрязнения: от субмикроскопических изменений ультраструктуры хлоропластов до макроскопических патологий (хлорозов, некрозов) и модификации морфометрических параметров [Алексеев, Дочинжер, 1982; Кирпичникова, Шавнин, Кривошеева, 1995; Ковылина, Зарубина, Ковылин, 2008].

Выявленная редукция длины хвоинок сосны в условиях загрязнения реализуется через несколько взаимосвязанных механизмов [Алексеев, Беккер, 1990]. На политоксикантном уровне фиксируется дезинтеграция мембран хлоропластов, редукция числа тилакоидов в гранах и снижение содержания фотосинтетических пигментов. Подобные изменения приводят к снижению интенсивности фотосинтеза и, как следствие, к дефициту углеводов, необходимых для роста меристематических тканей. На уровне целого организма наблюдается активация систем антиоксидантной защиты и накопления пролина как осмопротектора, что также требует дополнительных энергетических затрат. В условиях хронического стресса компенсаторные механизмы истощаются, что проявляется в необратимой редукции размеров ассимиляционных органов [Контроль ... , 2005; Тужилкина, 2009; Есякова, 2008; Авдеева, 2017].

Целью настоящей работы стала оценка уровня комбинированного техногенного загрязнения атмосферы на территории Иркутской городской агломерации с применением фитометрического подхода.

Исследование проводилось в шести населённых пунктах (рис. 1), дифференцированных по типу доминирующего техногенного воздействия, в качестве референсной единицы выбрана фоновая точка на удалении 30 км от ближайшего центра загрязнения. Хорошо заметна пространственная дифференциация техногенного поля агломерации.

Наиболее интенсивное загрязнение наблюдается в двух локациях агломерации (города Шелехов, Усолье-Сибирское), где сосредоточены предприятия цветной металлургии и химической промышленности. Усолье-Сибирское с 2018 г. получил статус зоны экологического бедствия федерального значения, отражающий уровень загрязнения атмосферного воздуха и почвы ртутью, хлорсодержащими соединениями и кислотами. Предприятия Шелехова характеризуются эмиссией фтористых соединений, бенз(а)пирена, взвешенных частиц, территория отнесена к зоне экологического бедствия. Ангарск, основным производственным объектом которого является нефтеперерабатывающее производство, формирует третий крупный центр загрязнения в центральной части агломерации. Среди выбросов предприятия регистрируют сернистые соединения, тяжёлые металлы (свинец, кадмий, ртуть) и углеводороды. Ир-

Иркутск характеризуется множественными источниками загрязнения. Посёлки Железнодорожный и Белореченский являются локальными очагами загрязнения преимущественно от пищевой промышленности и сельхозпредприятий².

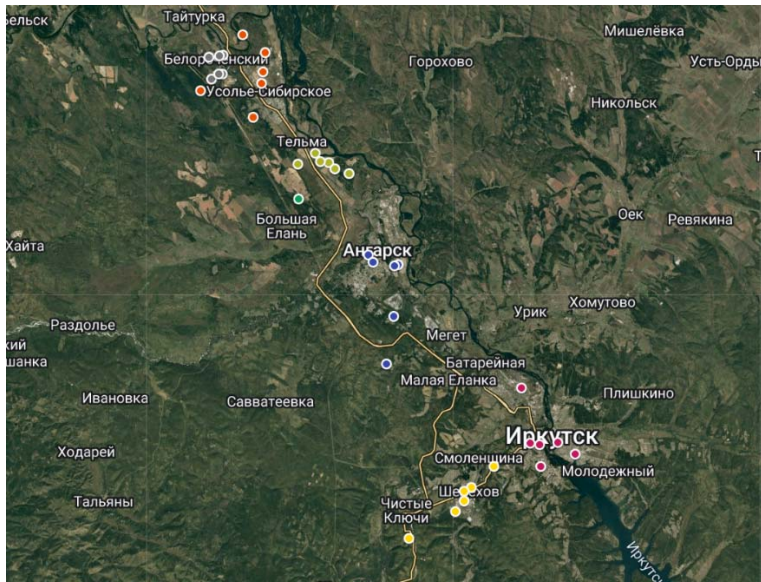


Рис. 1. Карта-схема расположения точек сбора проб хвои сосны обыкновенной в Иркутской городской агломерации: оранжевый – г. Усолье-Сибирское, серый – пос. Белореченский, светло-зеленый – пос. Железнодорожный, синий – г. Ангарск, жёлтый – г. Шелехов, красный – г. Иркутск, тёмно-зелёный – фоновая точка (пос. Тюменск в Усольском районе)

В каждой локации отбор проб проводили с шести точек наблюдений, расположенных по трансектным маршрутам по градиентному принципу «источник загрязнения → фоновый биотоп»: начинали от центров загрязнения в непосредственной близости от предприятий-источников, четыре следующих точки отбора проб располагались примерно равноудалённо в санитарно-защитных зонах, жилых массивах, рекреационных зонах, на окраинах населённых пунктов, шестая находилась на фоновой территории вне зоны регулярного воздействия промышленных выбросов и транспортных потоков, рассматриваемой в качестве базовой для оценки степени техногенной трансформации. Отбор материала проводили согласно модифицированной методике³ [Гелашвили, 1995] с ноября 2025 по март 2026 г. На каждой точке отбирали боковые побеги первого порядка в средней части кроны 15–20 деревьев сосны 15–20-летнего возраста на высоте размещения дыхательных пу-

² Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей природной среды Иркутской области в 2024 году». Иркутск, 2024. 290 с.

³ Руководящий документ (РД 52.44.2-94). Методические указания. Охрана природы. Комплексное обследование загрязнения природных сред промышленных районов с интенсивной антропогенной нагрузкой. Утв. Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды 09.12.1994. М., 1996.

тей человека 1,5–2 м. В лаборатории отсортировали 100 пар хвоинок второго – третьего вегетационного года.

Регистрировались первичные (абсолютная длина хвоинок (точность $\pm 0,5$ мм)), вторичные (частота и топография некротических поражений (кончиковый, пятнистый, тотальный некроз)) и третичные (интенсивность хлоротичных изменений (слабый, умеренный, сильный хлороз)) морфометрические маркеры, а также интегральный маркер (комбинированные поражения (некроз + хлороз)).

Статистическая обработка включала расчёты описательных статистик, коэффициентов вариации и градиентных характеристик с использованием программы MedCalcStatistica. Визуализация пространственных трендов выполнена методом диаграммы размаха (boxplot) с указанием медианных значений и выбросов. Коэффициент вариации (CV) для расчёта оценки однородности или изменчивости признаков рассчитывался по формуле:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \%,$$

где σ – среднее квадратическое отклонение; μ – среднее арифметическое.

Анализ морфометрических параметров выявил контрастную дифференциацию длины хвоинок. Фоновые биотопы характеризуются постоянным значением 44,5 мм (CV 18 %), что соответствует оптимальным физиологическим нормам для региона. В эпицентрах катастрофического загрязнения (города Шелехов и Усолье-Сибирское) зафиксирована экстремальная редукция длины хвоинок до 7,5–8 мм (CV 0,17–0,18). Данные значения значительно ниже критического порога 10 мм, предложенного С. Н. Тархановым и С. Ю. Бирюковым [2012] в качестве признака «морфологического барьера», за которым наступает необратимая деградация ассимиляционного аппарата.

Следует отметить, что несмотря на различную химическую специфику загрязнения в Шелехове (фториды) и Усолье-Сибирском (ртуть, хлориды), фитометрические маркеры демонстрируют конвергентную реакцию «синдром редукции», связанную с неспецифическим ответом меристематических тканей на политоксикантный стресс [Ладанова, Плюсина, 1998].

Структура поражения хвои в зонах максимального влияния характеризуется преобладанием тотальных некрозов (28–45 %), что указывает на системную деградацию фотосинтетического аппарата.

Высокая частота пятнистых некрозов (50–55 %) в Шелехове и Усолье-Сибирском свидетельствует о хроническом характере воздействия с накоплением токсикантов в тканях. При этом доминирование сильного хлороза (55–57 %) указывает на нарушение пигментного комплекса и дезорганизацию фотосинтетических мембран.

Коэффициент комбинированных поражений (одновременное присутствие некроза и хлороза) в катастрофических зонах достигает 0,85–0,99, что отражает синергический эффект множественных стрессоров.

Проведённый анализ продемонстрировал выраженную тенденцию к нормализации морфометрических характеристик по градиенту от зон загрязнения к фоновым (рис. 2).

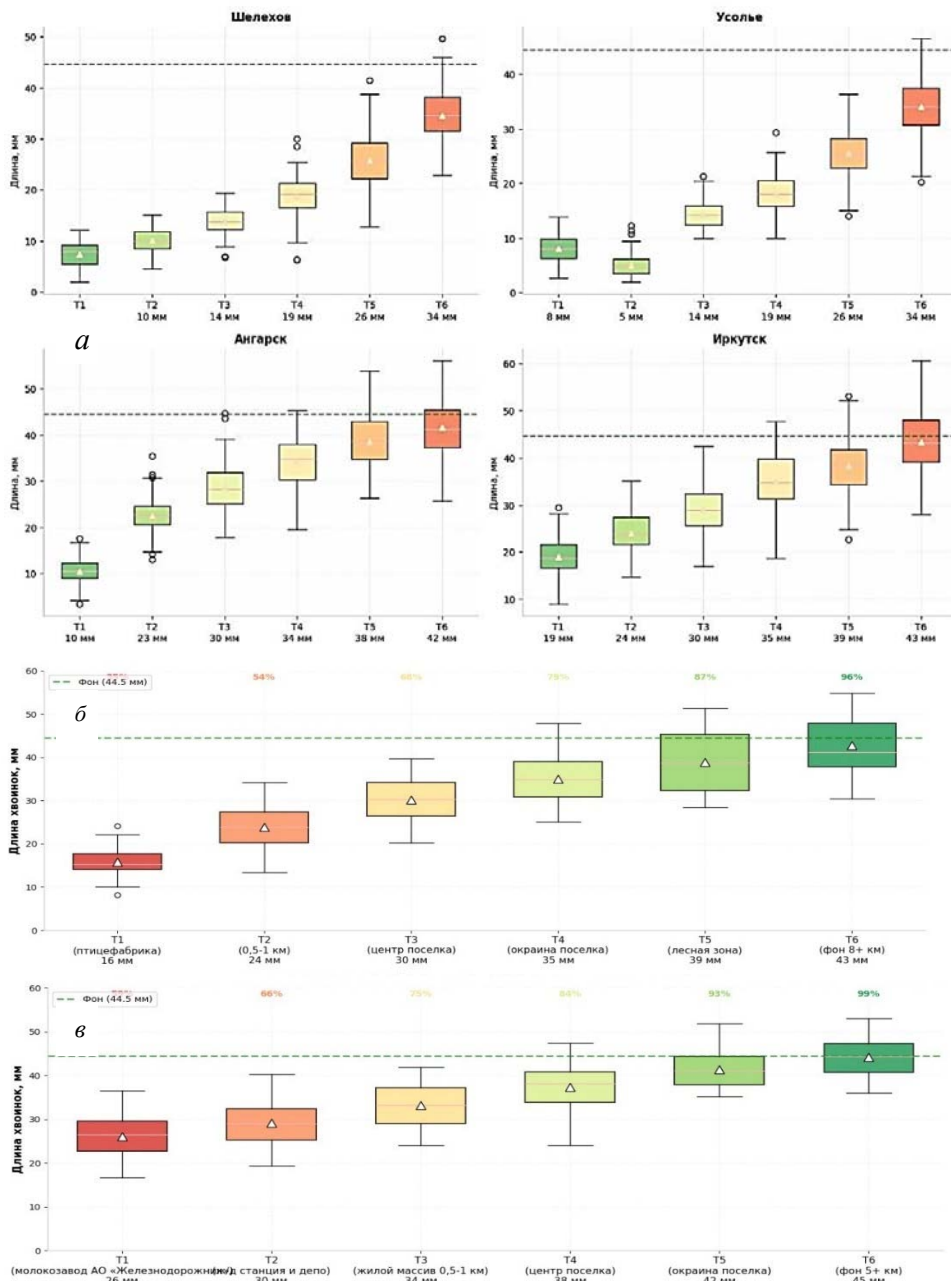


Рис. 2. Политопные градиенты (от зоны загрязнения (промышленной зоны) к фоновому биотопу) длины хвои сосны обыкновенной в промышленных агломерациях Приангарья: а – города Шелехов, Усолье-Сибирское, Ангарск и Иркутск (источники загрязнения – политопные); б – пос. Белореченский (Усольский р-н) (основной источник загрязнения – птицефабрика СХАО «Белореченское»); в – пос. Железнодорожный (Усольский р-н) (основные источники загрязнения – структуры ВСЖД и молочозавод АО «Железнодорожник»). По оси абсцисс – точки трансекты (Т1–Т6), по оси ординат – длина хвои, мм. Пунктирная линия указывает на базовый уровень длины хвои, характерный для фоновых биотопов (44,5 мм)

Наиболее контрастные градиенты характерны для Шелехова и Усолья-Сибирского (см. рис. 2, а): увеличение длины хвои от 7,5–8,0 мм (Т1) до 34 мм (Т6), коэффициент градиентности 4,3 и 4,0 соответственно. Данный показатель отражает высокую локализацию техногенного поля и чёткую дифференциацию экологических зон.

В Ангарске градиент менее выражен, коэффициент составляет 3,0, что обусловлено большей площадью источника загрязнения и интенсивным транспортом загрязнителей атмосферными потоками. В Иркутске вследствие полицентричности источников и активной аэродинамики городского рельефа фиксируется «размытый» градиент, коэффициент составляет 2,3.

График для пос. Белореченский (см. рис. 2, б) демонстрирует критический уровень загрязнения в центре (Т1), где длина хвои в 2,8 раза ниже фоновых показателей, выраженных градиентом восстановления к фоновому значению. Источник загрязнения – птицефабрика оказывает сильное техногенное воздействие за счёт накопления аммиака и органических отходов.

В пос. Железнодорожный (см. рис. 2, в) средневысокий уровень загрязнения констатируется в точке Т1, где регистрируется самое высокое значение длины хвои среди шести центров загрязнения: отклонение составляет 58 % от фоновых значений с наиболее пологим градиентом среди всех исследованных населённых пунктов. Точка Т5 демонстрирует 94 % сходства с фоном, хвоя из точки Т6 – полное восстановление с небольшим отклонением. Центрами загрязнения в посёлке являются молокозавод и структуры железной дороги.

Корреляционный анализ позволил установить статистически значимые соотношения между показателями состояния хвои. Распространённость некрозов и хлорозов обратнозависима от длины хвоинок ($r = -0,92$, $p < 0,001$). С уменьшением длины хвоинок резко возрастает частота некротических и хлоротических поражений, что указывает на комплексное воздействие поллютантов, повреждающих ассимиляционный аппарат и вызывающих отмирание тканей.

Сопоставление с опубликованными данными подтверждает универсальность фитометрического подхода. В условиях загрязнения SO_2 в европейской части России редукция длины хвои сосны составляла 20–35 %, в зоне воздействия медеплавильного производства – до 50 %. В зоне действия алюминиевых производств в Богучанском районе Красноярского края средняя длина хвоинок сосны составляла 8–12 мм при фоновых значениях 45–50 мм [Тагиров, Спицына, 2023]⁴, что по степени ассимиляции схоже с данными из окрестностей г. Шелехова, где регистрируется длина хвои 7,5 мм. В зоне действия нефтеперерабатывающих предприятий Омска отмечалось снижение длины хвоинок до 40–45 % от фоновых значений при распространённости некрозов 80–90 %⁵, что коррелирует с данными для Ангарска (24 и 95 % соответственно). В Приангарье, где реализуются комбинированные воздействия фторидов, тяжёлых металлов и полициклических ароматических углеводородов, редукция достигает 80–83 %, что указывает на экстремальный характер уровня регионального техногенного загрязнения.

⁴ Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2024 году». Красноярск, 2025. С. 266.

⁵ Доклад об экологической ситуации в Омской области за 2021 год / М-во природ. ресурсов и экологии Омской области. Омск : Омскбланкиздат, 2022. 304 с.

Все обследованные промышленные центры Иркутской области характеризуются превышением уровня загрязнения атмосферного воздуха, подтверждаемым морфологическими изменениями хвоинок сосны обыкновенной. В области установлено формирование регионального фона загрязнения, характеризующегося редуцией длины хвоинок до 34 мм, что составляет 76 % от фоновых значений в 44,5 мм, и повышенной поражённостью хвои в пределах 60 % против 25 % на фоновых территориях.

Список литературы

- Авдеева Е. В., Панов А. И. Биоиндикация урбосистем по морфологическим признакам хвойных растений // Хвойные бореальной зоны. 2017. № 1–2. С. 7–14.
- Алексеев В. А., Дочинжер Л. С. Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Таллин : АН ЭС, 1982. Вып.4. № 1. С. 16–26.
- Алексеев С. Б., Беккер А. М. Биоиндикация состояния воздуха по хвое сосны. М. : Наука, 1990. 128 с.
- Иркутская область (природные условия административных районов) / Н. С. Беркин, С. А. Филиппова, В. М. Бояркин, А. М. Наумова, Г. В. Руденко. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1993. 304 с.
- Гелашвили Д. Б. Методы биомониторинга // Экологический мониторинг. 1995. № 1. С. 142–184.
- Есякова О. А., Ставникова Л. В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха крупных промышленных городов // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2008. № 1. С. 133–134.
- Кирпичникова Т. В., Шавнин С. А., Кривошеева А. А. Состояние фотосинтетического аппарата хвои сосны и ели в зонах промышленного загрязнения при различных микроклиматических условиях // Физиология растений. 1995. Т. 42, № 1. С. 107–113.
- Ковылина О. П., Зарубина И. А., Ковылин А. Н. Оценка жизненного состояния сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. 25, № 3–4. С. 284–289.
- Контроль стрессовой нагрузки лесных экосистемах Прибайкалья при воздействии аэро-промвыбросов алюминиевых производств / В. К. Войников, Т. А. Пензина, А. Ю. Яковлев, Г. Б. Боровский, С. В. Новикова, Г. П. Александрова, С. А. Медведева, И. В. Волчатова, Е. А. Хамидуллина, Л. И. Бельх, Э. Э. Пензина, И. А. Рябчикова // Сибирский экологический журнал. 2005. № 4. С. 693–700.
- Ладанова Н. В., Плюснина С. Н. Анатомно-морфологические изменения разновозрастной хвои сосны обыкновенной в зоне действия Сыктывкарского лесопромышленного комплекса // Лесной журнал. 1998. № 1. С. 7–11.
- Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. М. : Мысль, 1990. 637 с.
- Собчак Р. О. Диагностика состояния видов хвойных в зонах техногенного загрязнения Республики Алтай // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 325. С. 185–192.
- Тагиров Р. Р., Спицына Т. П. Разработка системы мониторинга состояния и загрязнения и загрязнения поверхностных вод суши в районе проектирования Нижнебогучанской ГЭС // Известия Байкальского государственного университета. 2023. № 3. С. 571–580.
- Тарханов С. Н., Бирюков С. Ю. Определение влияния атмосферного загрязнения на морфометрические показатели хвои сосны и ели в бассейне Северной Двины // Сибирский экологический журнал. 2012. № 3. С. 407–414.
- Тужилкина В. В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // Экология. 2009. № 4. С. 243–248.

References

- Avdeeva E.V., Panov A.I. Bioindikatsiya urbosistem po morfologicheskim priznakam khvoynykh rasteniy [Bioindication of urban systems by morphological characteristics of coniferous plants]. *Khvoynye borealnoy zony* [Conifers of the Boreal Zone], 2017, no. 1-2, pp. 7-14. (in Russian)
- Alekseev V.A., Dochinzh L.S. Vzaemodeistvie mezhdu lesnymi ekosistemami i zagryazniteliami [Interaction between forest ecosystems and pollutants]. *Vzaemodeistvie lesnykh ekosistem i*

atmosfera [Interaction of forest ecosystems and atmospheric pollutants]. Tallinn, AS Estonia Publ., 1982, pp. 16-26. (in Russian)

Alekseev S.B., Bekker A.M. *Bioindikatsiya sostoyaniya vozdukh po khvoe sosny* [Bioindication of air condition by pine needles]. Moscow, Nauka Publ., 1990, 128 p. (in Russian)

Berkin N.S., Filippova S.A., Boyarkin V.M., Naumova A.M., Rudenko G.V. *Irkutskaya oblast' (prirodnye usloviya administrativnykh raionov)* [Irkutsk region (natural conditions of administrative districts)]. Irkutsk, Irkutsk St. Univ. Publ., 1993, 304 p. (in Russian)

Gelashvili D.B. *Metody biomonitoringa* [Methods of biomonitoring]. *Ekologicheskii monitoring* [Ecological monitoring], 1995, no. 1, pp. 142-184. (in Russian)

Esyakova O.A., Stavnikova L.V. *Bioindikatsiya zagryazneniya atmosfernogo vozdukh krupnykh promyshlennykh gorodov* [Bioindication of atmospheric air pollution in large industrial cities]. *Zdorove – osnova chelovecheskogo potentsiala: problemy i puti ikh resheniya* [Health as the Basis of Human Potential: Problems and Solutions], 2008, no. 1, pp. 133-134. (in Russian)

Kirpichnikov T.V., Shavnin S.A., Krivosheeva A.A. *Sostoyanie fotosinteticheskogo apparata khvoi sosny i eli v zonakh promyshlennogo zagryazneniya pri razlichnykh mikroklimaticheskikh usloviyakh* [State of photosynthetic apparatus of pine and spruce needles in zones of industrial pollution under various microclimatic conditions]. *Fiziologiya Rastenij*, 1995, vol. 42, no. 1, pp. 107-113. (in Russian)

Kovylyina O.P., Zarubina I.A., Kovylin A.N. *Otsenka zhiznennogo sostoyaniya sosny obyknovennoy v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya* [Assessment of the vital state of Scots pine under conditions of technogenic pollution]. *Khovnye borealnoy zony* [Conifers of the Boreal Zone], 2008, vol. 25, no. 3-4, pp. 284-289. (in Russian)

Voynikov V.K., Penzina T.A., Yakovlev A.Yu., Borovskiy G.B., Novikova S.V., Aleksandrova G.P., Medvedeva S.A., Volchatova I.V., Khamidullina E.A., Belykh L.I., Penzina E.E., Ryabchikova I. A. *Kontrol stressovoy nagruzki lesnykh ekosistemakh Pribaykalya pri vozdeystvii aeropromysbrosov aluminievyykh proizvodstv* [Control of stress load in forest ecosystems of the Lake Baikal region under the impact of alumina production air emissions]. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2005, no. 4, pp. 693-700. (in Russian)

Ladanova N.V., Plyusnina S.N. *Anatomo-morfologicheskie izmeneniya raznovozrastnoi khvoi sosny obyknovennoy v zone deistviya Syktyvkarskogo lesopromyshlennogo kompleksa* [Anatomical and morphological changes of different-aged needles of Scots pine in the zone of Syktyvkar timber industrial complex]. *Russ. Forest. J.*, 1998, no. 1, pp. 7-11. (in Russian)

Reimers N.F. *Prirodopolzovanie: slovar-spravochnik* [Nature management: dictionary-reference]. Moscow, Mysl Publ., 1990, 637 p. (in Russian)

Sobchak R.O. *Diagnostika sostoyaniya vidov khvoinykh v zonakh tekhnogennoy zagryazneniya Respubliki Altai* [Diagnostics of coniferous species state in zones of technogenic pollution of the Altai Republic]. *Tomsk St. Univ. J.*, 2009, no. 325, pp. 185-192. (in Russian)

Tagirov R.R., Spitsyna T.P. *Razrabotka sistemy monitoringa sostoyaniya i zagryazneniya i zagryazneniya poverkhnostnykh vod sushi v raione proektirovaniya Nizhneboguchanskoi GES* [Development of a system for monitoring the condition and pollution of surface waters in the area of the Nizhneboguchanskaya hydroelectric power station design]. *Bull. Baikal St. Univ.*, 2023, no. 3, pp. 571-580. (in Russian)

Tarkhanov S.N., Biryukov S.Yu. *Opreделение vliyaniya atmosfernogo zagryazneniya na morfometricheskie pokazateli khvoi sosny i yeli v bassejne Severnoy Dviny* [Determination of the influence of atmospheric pollution on morphometric parameters of pine and spruce needles in the Northern Dvina basin]. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2012, no. 3, pp. 407-414. (in Russian)

Tuzhilkina V.V. *Reaktsiya pigmentnoy sistemy khvoynykh na dlitelnoye aerotekhnogennoye zagryazneniye* [Response of the pigment system of conifers to long-term aerotechnogenic pollution]. *Russ. J. Ecol.*, 2009, no. 4, pp. 243-248. (in Russian)

Информация об авторе

Верещагина Елена Алексеевна
преподаватель
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: zizograf1@mail.ru

Information about the author

Vereshchagina Elena Alekseevna
Lecturer
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: zizograf1@mail.ru