

**В.И. ВОРОНИН\***, **А.П. СОФРОНОВ\*\***, **\*\*\***, **Т.И. МОРОЗОВА\***, **В.А. ОСКОЛКОВ\***,  
**В.Г. СУХОВОЛЬСКИЙ\*\*\*\***, **А.В. КОВАЛЁВ\*\*\*\*\***

\*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова 132/2, Россия, bioin@sifibr.irk.ru, ti.morozova@mail.ru, vosk@sifibr.irk.ru

\*\*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,

664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, alesofronov@yandex.ru

\*\*\*Педагогический институт Иркутского государственного университета,  
664011, Иркутск, ул. Нижняя Набережная, 6, Россия, alesofronov@yandex.ru

\*\*\*\*Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН,

660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 28, Россия, soukhovolsky@yandex.ru

\*\*\*\*\*Красноярский научный центр СО РАН,

660036, Красноярск, Академгородок, 50, Россия, sunhi.prime@gmail.com

## ЛАНДШАФТНАЯ ПРИУРОЧЕННОСТЬ БАКТЕРИАЛЬНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ХРЕБТА ХАМАР-ДАБАН (ЮЖНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

*Приводятся данные комплексного исследования причин и масштабов усыхания темнохвойных лесов в геосистемах северного макросклона хр. Хамар-Дабан с 2006 по 2009 г. Причиной усыхания стало заболевание «бактериальная водянка», вызываемое бактерией *Erwinia nimipressuralis* Carter. Спускным механизмом для развития заболевания послужило маловодье, наблюдавшееся в регионе в этот период. Для оценки масштабов повреждения темнохвойных лесов использовался ландшафтный подход. Была создана среднемасштабная карта геосистем северного макросклона хр. Хамар-Дабан, на которой показано разнообразие геосистем региона уровня классов фаций. Выполнена работа по ранжированию лесов по трем степеням пораженности древостоя (от сильной до слабой) и проведена оценка территории их распространения. Основные площади нарушенных лесов сосредоточены в восточной и западной областях Хамар-Дабана, где они занимают среднюю и верхнюю полосы горно-таежного пояса. Наиболее пострадал от заболевания кедровый древостой. Пихта повреждена меньше, но в ряде мест нарушение кедрового и пихтового древостоя сопоставимо. Усыхание елового древостоя не выявлено. Резкое падение скорости прироста у кедрового древостоя приходится на 2006–2009 гг. Кроме этого, отмечается уменьшение содержания питательных веществ в пыльцевых зернах кедра и снижение активности их прорастания, а также негативная трансформация кедровых шишек в виде их избыточного засмоления и недоразвитости, что является одним из диагностических признаков бактериальной водянки. Нарушение развития пыльцы и шишек кедра негативно сказывается на вызревании семян кедра, замедляя лесовозобновление. Однако изучение состояния подроста в пострадавших от бактериальной водянки насаждениях свидетельствует об удовлетворительных в целом процессах восстановления темнохвойных лесов.*

Ключевые слова: бактериальная водянка, кедр сибирский, геосистемы Прибайкалья, дендрохронология.

**V.I. VORONIN\***, **A.P. SOFRONOV\*\***, **\*\*\***, **T.I. MOROZOVA\***, **V.A. OSKOLKOV\***,  
**V.G. SUKHOVOL'SKII\*\*\*\***, **A.V. KOVALEV\*\*\*\*\***

\*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 132/2, Russia, bioin@sifibr.irk.ru, ti.morozova@mail.ru, vosk@sifibr.irk.ru

\*\*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,

664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 1, Russia, alesofronov@yandex.ru

\*\*\*Pedagogical Institute of Irkutsk State University,

664011, Irkutsk, 6, ul. Nizhniaya Naberezhnaya, Russia, alesofronov@yandex.ru

\*\*\*\*Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, str. 28, Russia, soukhovolsky@yandex.ru

\*\*\*\*\*Krasnoyarsk Scientific Center, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,

660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50, Russia, sunhi.prime@gmail.com

THE LANDSCAPE-SPECIFIC OCCURRENCE OF BACTERIAL DISEASES  
IN DARK-CONIFEROUS FORESTS ON KHAMAR-DABAN RANGE (SOUTHERN CISBAIKALIA)

Presented are the data from a comprehensive investigation into the causes and extent of dark coniferous forest dieback in geosystems of the northern macroslope of Khamar-Daban Range for the time interval 2006–2009. Forest dieback was caused by bacteria *Erwinia nimipressuralis* Carter. The disease outbreak was triggered by water scarcity in the region at that period. Landscape approach was used in assessing the magnitude of damage to dark-coniferous forests. The medium-scale map of geosystems was created for the northern macroslope of Khamar-Daban Range, showing the region's geosystem diversity at the level of classes of facies. The ranking of forests was done according to three degrees of damage to tree stands (from strong to weak), and an assessment was made of the territory covered by them. The main areas of affected forests are concentrated in the eastern and western regions of Khamar-Daban where they occupy the middle and upper parts of the mountain-taiga belt. The Siberian stone pine stands suffered the most from the disease. Fir trees were less affected; in some areas, however, the damage to Siberian stone pine and fir stands is comparable. A dramatic decrease of the rate of radial increment in Siberian stone pine stands corresponds to the time interval 2006–2009. Furthermore, there occurred a decrease in nutrient content in pollen grains of Siberian stone pine and a decrease in of the rate of their germination as well as a negative transformation of Siberian stone pine cones in the form of their excessive resinosis and immaturity, which is one of the diagnostic features of bacterial dropsy. A disturbance to the development of pollen and pine cones negatively affects the ripening of Siberian stone pine seeds thus impeding forest regeneration. However, a study of the state of the young growth in forest stands affected by bacterial dropsy bears witness to the generally satisfactory processes of dark-coniferous forest rehabilitation.

Keywords: bacterial dropsy, *Pinus sibirica*, Cisbaikalian geosystems, dendrochronology.

На протяжении последних 15 лет в Южном Прибайкалье (хр. Хамар-Дабан) наблюдается устойчивое ухудшение санитарного состояния темнохвойных лесов, пострадали сотни тысяч гектаров [1, 2]. Характерные признаки этого явления — куртинное ослабление и усыхание деревьев, мозаичное повреждение (дехромация хвои) кедра и пихты, поперечные и продольные трещины в коре и активное истекание экссудата (смолотечение) из них. Наличие на поперечном срезе стволов деревьев зоны мокрого ядра, а у сильно ослабленных и недавно усохших деревьев характерного темного водослоя дало основание диагностировать повреждение темнохвойных древостоев в Иркутской области и Бурятии от действия бактериальных агентов [1]. Микробиологический анализ образцов древесины, отобранных на пробных площадях, проведенный в Иркутской межобластной лаборатории, показал присутствие бактерий рода *Erwinia* (*E. nimipressuralis* Carter), вызывающих заболевание, именуемое бактериальной водянкой [1].

В июне и июле 2018 г. сотрудниками Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, Института леса СО РАН, Института географии СО РАН и Красноярского научного центра СО РАН было проведено комплексное обследование темнохвойных насаждений Хамар-Дабана с целью определения масштаба и пространственно-структурных особенностей распространения болезней лесов и оценки динамики ослабления и усыхания темнохвойных древостоев. Была составлена среднемасштабная карта геосистем северного макросклона хребта как территории с наибольшим распространением темнохвойных лесов в Южном Прибайкалье, осуществлялись дендрохронологические исследования. Для определения начального периода ослабления древостоев и анализа динамики состояния деревьев исследовались генеративная сфера ослабленных болезнью деревьев кедра и состояние подроста.

Анализ пространственно-структурных особенностей распространения болезней лесов Хамар-Дабана строился на оценке распределения ландшафтов в регионе и их функционального состояния. Применение ландшафтного подхода позволяет выделить комплекс причин, которые приводят к возникновению того или иного процесса в природной среде. Кроме этого, при установлении факта нарушения природных комплексов одного типа под влиянием того или иного обстоятельства масштабы повреждения могут быть оценены исходя из общей распространенности данных геосистем в регионе, без подробного обследования всей территории, с помощью экстраполяции данных, полученных на ключевых участках.

## ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА

Климатические условия северного макросклона Хамар-Дабана сильно отличаются от условий резко континентального климата, преобладающих в Прибайкалье. Так, здесь наблюдается большое количество осадков в течение всего года и, соответственно, мощный снежный покров [3], защищаю-

<sup>1</sup> Латинские названия видов приведены в соответствии со сводкой С.К. Черепанова [4] и с некоторыми корректировками согласно «Конспекту флоры Иркутской области» [5].

щий почву от промерзания. Кроме этого, влияние водных масс оз. Байкал сглаживает годовую и суточную амплитуду температур, что придает побережью черты морского климата. Эти условия способствуют развитию здесь темнохвойной тайги из кедра сибирского (*Pinus sibirica*<sup>1</sup>) и пихты сибирской (*Abies sibirica*) [6].

Средняя температура воздуха на северном макросклоне в январе колеблется от  $-18^{\circ}\text{C}$  на побережье до  $-24^{\circ}\text{C}$  в верхней части горно-таежного пояса, а в июле — от  $16$  до  $10^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура варьируется от  $-0,3$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ . В прибрежной полосе (460 м над ур. моря) выпадает 450–514 мм/год, в высокогорьях (от 1700 м над ур. моря) 783–1564 мм/год, при этом около 70 % осадков приходится на период с апреля по октябрь [7]. Мощность снежного покрова на северном макросклоне значительна: на прибрежных низменных террасах — 0,7–0,9 м, а у верхней границы леса — 1,2–1,6 м, что оказывает решающее влияние на температурный режим почв, которые промерзают очень слабо, а иногда остаются тальми в течение ряда лет. Южный макросклон хребта находится в дождевой тени и отличается высокой континентальностью климата.

В верхней части лесного пояса (1200–1900 м над ур. моря) под кедрово-пихтовыми зеленомошными лесами формируются подбуры и подзолистые почвы, под пихтовыми крупнотравными и папоротниковыми лесами (600–800 м над ур. моря) — бурые лесные почвы [8]. Горно-луговые и горно-луговые дерновые почвы развиваются под богатым луговым разнотравьем и в обильно увлажненных безлесных высокогорных ландшафтах северного макросклона [8].

Рельеф территории сформировался под воздействием новейшей тектоники, эрозивно-денудационных процессов, структурно-литологических особенностей пород. Преобладают высоты около 1500–2000 м над ур. моря, рельеф образован молодыми тектоническими движениями. Ширина Хамар-Дабана не превышает 30–35 км, водораздельная часть удалена от побережья Байкала на 10–15 км.

В орографическом отношении изучаемую территорию можно разделить на две части — восточную и западную (с границей по р. Переемной), различающиеся геологическим строением, абсолютными высотами и крутизной склонов. Западная часть (половина) хр. Хамар-Дабан характеризуется наибольшими высотами, резко расчлененным альпинотипным рельефом и крутыми склонами, которые прорезаны многочисленными речными долинами небольшой ширины (первые сотни метров). Здесь и в средней части хребта широко распространены многочисленные трюги, цирки, остроконечные скальные гребни и гряды, где интенсивно протекают лавинные и селевые процессы [9]. Восточная часть характеризуется округлыми вершинами с высотами около 1500 м над ур. моря, речная сеть более разреженная, чем в западной части, долины широкие, однако склоны тоже достаточно крутые.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Субширотное расположение оз. Байкал в центре северной части Азии в зоне контакта нескольких крупных физико-географических областей, а также горный рельеф местности с большим разнообразием мест обитания определили высокое разнообразие и сложную структуру растительного покрова, несмотря на относительно невысокое видовое разнообразие лесообразующих пород геосистем Хамар-Дабана.

Согласно геоботаническому районированию, территория исследования располагается в зоне взаимопроникновения растительных сообществ Хамар-Дабанской гольцово-горно-таежной провинции Южно-Сибирской горно-таежной области и Байкальской озерно-котловинной провинции Байкало-Джугджурской гольцово-горно-таежной области [10].

Эдификаторами лесов в районе выступают кедр сибирский, пихта сибирская и ель обыкновенная (*Picea obovata*) при участии сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*). В сообществах субальпийского пояса ведущая роль принадлежит кедровому стланнику (*Pinus pumila*). Важную роль в древостое играют мелколиственные породы — березы (*Betula pendula*, *B. platyphilla* и др.) и осина (*Populus tremula*), активно участвующие в сложении древостоя коренных сообществ и образующие основную часть вторичных (производных) лесов на местах гарей и рубок. В составе древостоя приречных мест обитания горно-долинных лесов преобладает тополь душистый (*Populus suaveolens*).

Основной закономерностью пространственного сложения растительности в регионе из-за горного рельефа территории со значительным перепадом высот является высотная поясность [11]. Выделяются высокогорный, горно-таежный, подгорно-лесной пояса [3]. Кроме этого, в регионе широко распространены аazonальные растительные сообщества — болота и луга, встречающиеся во всех высотных поясах. Из-за высокой нарушенности коренных подгорных лесов и лесов нижних частей горно-таежного пояса часто встречаются производные мелколиственные леса [9].

Подгорно-котловинный пояс выражен относительно слабо и приурочен в основном к конусам выноса горных рек и подгорному шлейфу хребта. Данный пояс имеет длительную историю хозяйственного освоения, в результате которого коренные хвойные леса почти полностью сменились производными березовыми и осиновыми травяными ценозами. Также здесь распространены приуроченные к переувлажненным участкам выровненной подгорной равнины у подножия склонов верховые и переходные осоково-сфагновые и кустарничково (*Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Oxycoccus microcarpus*)-осоково (*Carex* sp.)-сфагновые (*Sphagnum* sp.) болота с рединами из кедра, ели и березы [12].

Нижняя часть горно-таежного пояса большей частью также занята производными мелколиственными (преимущественно) березовыми и осиново-березовыми травяными лесами. Условно-коренные леса представлены сосново-лиственничными и лиственнично-сосновыми кустарниковыми и кустарничково-травяно-моховыми лесами. В верхней части горно-таежного пояса в основном распространены пихтово-кедровые баданово-кашкарново-зеленомошные леса. Пояс редколесий образуют кедровостланиковые кашкарново-чернично-бруснично-зеленомошные заросли [12].

Горно-таежные склоновые геосистемы охватывают основную часть территории. Они представлены южносибирскими комплексами с доминированием пихты и кедра, а также их производными вариантами с лиственницей сибирской, сосной обыкновенной и мелколиственными породами березы и осины. Преобладают черничные (*Vaccinium myrtillus*), брусничные, мелкотравные (*Trientalis europaea*, *Maianthemum bifolium*), зеленомошные (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) фации. На склонах южных экспозиции господствуют кедровые травяные леса, на склонах теневой экспозиции — кедровые и пихтовые с елью чернично-багульниковые зеленомошные фации. По днищам горных долин на приречных местах обитания развиваются серийные тополевы с участием темнохвойных пород травяные ценозы.

Высокогорные участки заняты южносибирскими кустарничково (*Phyllodoce caerulea*)-травяными тундрами, с распространением в приречных и пониженных местах субальпийских и альпийских лугов из купальницы, водосбора, осок и других видов.

В локальных местоположениях северо-восточного макросклона хр. Хамар-Дабан, вследствие специфического мезоклимата, сложились благоприятные условия для сохранения видов с особыми родственными связями и ареалами, свидетельствующими о широком распространении в прошлом на территории Прибайкалья хвойно-широколиственных лесов [6, 13]. Большинство этих видов обитает в темнохвойных (пихтовых и кедрово-пихтовых) лесах и зарослях прирусловых кустарников долин рек Безымянная, Утулик, Бабха, Солзан, Лангутай, Хара-Мурин, Слюдянка, Снежная, отличающихся повышенной влажностью, богатством почв, часто с хорошо выраженным гумусовым горизонтом. Кроме этого, важным фактором, обеспечивающим их потребности, являются бурые горно-лесные почвы, с их спецификой режимных процессов. Нормальное развитие многих травянистых видов реликтового неморального комплекса в первую очередь предполагает отсутствие промерзания грунта в зимний период, что обеспечивается опять же значительными осадками и обогревающим влиянием оз. Байкал [8].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение геосистем северного макросклона хр. Хамар-Дабан проводилось согласно положениям учения В.Б. Сочавы [14], в основе работ лежал принцип выделения геосистем ряда геоморфов. В качестве основных единиц картографирования были выбраны классы фаций — для целей настоящего исследования наиболее оптимальное подразделение при среднемасштабных картографических работах.

По мнению В.Б. Сочавы [14, 15], растительность выступает как критичный (репрезентативный) компонент геосистем, и изучение ее состояния может служить источником достоверной информации о состоянии геосистем в целом. Исходя из этого, основное внимание было направлено на анализ состояния именно растительного покрова.

Для создания карты проводились работы по выявлению разнообразия ценозов на всей территории с использованием фондовых материалов, подкрепленных собственными натурными исследованиями. В ходе полевых работ на ключевых участках составлялись полные геоботанические описания, фиксировались характер повреждения деревьев и процентное соотношение погибшего и здорового древостоя. Также в маршрутных работах определялись площади и характеристики мест с наиболее поврежденными лесами.

Обследование растительного покрова ключевых участков велось на основе классических геоботанических методов [16, 17], дополненных современными способами фиксации пространственной привязки (GPS-Глонасс-навигаторов), с использованием наземной и аэрофотосъемки с применением

беспилотных средств, с привлечением данных дистанционного зондирования Земли из открытого архива геологической службы США [18].

Также в работе были использованы фондовые материалы Института географии СО РАН по изучению растительного покрова центральной экологической зоны Байкальской природной территории.

Дендрохронологические исследования проводились по общепринятой методике [19]. Были отобраны буровые образцы кедра и пихты (не менее чем у 20 деревьев, всего 120 кернов). По отобраным образцам древесины после измерения ширины годичных колец с применением автоматизированной системы LINTAB (Frank Rinn-Rinntech, Германия) были построены индивидуальные древесно-кольцевые хронологии (ИДКХ), которые датировались методом перекрестной датировки (cross-dating) в программном пакете TSAP [20]. В процессе перекрестной датировки устанавливалась точная календарная дата каждого годичного кольца исследуемых ИДКХ. Стандартизация абсолютных (измеренных) величин радиального прироста, представляющая собой процедуру подавления эффекта возрастной кривой роста фильтрацией низкочастотной составляющей в многолетних колебаниях прироста, осуществлялась программой R из программного пакета Detrender [21]. Стандартизированные ИДКХ, имеющие достаточную корреляционную связь с таковыми из всего полученного арсенала древесно-кольцевых хронологий, объединялись в обобщенную древесно-кольцевую хронологию, которая отражала уже реакцию всей популяции деревьев, произрастающих в районе исследования.

Учет подроста осуществлялся на временных учетных площадках размером 50 × 50 и 100 × 100 м по ступеням высоты подроста 0–50 см, 51–100, 101–150, 151–200 и выше 200 см. В каждой ступени высоты определялся средний возраст подроста: случайным образом для каждой из них отбиралось по десять образцов молодых деревьев, у которых измерялся возраст, и затем рассчитывалось среднее значение.

Для изучения процесса семеношения кедра отбиралось по 30 побегов мужской сексуализации, которые приобрели желтую окраску, растрескались и начали пылить. Возраст деревьев составлял 45–55 лет. Измерение морфологических параметров пыльцевого зерна и размеров пыльцевой трубки проводилось под световым микроскопом (метод светлого поля, увеличение 120) с помощью окуляра-микрометра с точностью в 1 мкм. Количество измерений размеров пыльцевых зерен и пыльцевых трубок для каждого из деревьев составляло 100 повторностей. Содержание крахмала и морфологическая зрелость пыльцы оценивались не менее чем в 25 полях зрения микроскопа по 4-балльной шкале [22].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в настоящее время в очагах, где раньше шло активное развитие бактериальных болезней, свежий сухостой и выпавшие деревья составляют 65–70 %, а здоровые деревья отсутствуют. В среднем, резюмируя данные исследований на постоянных пробных площадях и результаты, полученные на вновь заложенных площадках, можно представить общую картину: погибшие деревья составляют 30 % древостоя и более, деревья с повреждением кроны на 5–10 % — 7–10 %, с повреждением кроны на 11–40 % — 25 %, с повреждением кроны более чем на 40 % — до 40 %. Это характерно не только для кедра, но и для пихты. Погибшие деревья активно заселяются стволовыми вредителями. Таким образом, можно уверенно говорить о распаде кедрово-пихтовых древостоев в средней части горно-таежного пояса Хамар-Дабана на всем его протяжении (рис. 1).

Для определения масштаба и пространственно-структурных особенностей распространения болезней лесов была составлена среднемасштабная (м-б 1:300 000) карта геосистем северного макросклона хр. Хамар-Дабан уровня классов фаций (рис. 2, легенда).

На следующем этапе работ было проведено районирование территории по степени поражения лесов бактериальной водянойкой на основании экстраполяции экспедиционных данных (рис. 3). Всего было выделено три области: 1) леса с наибольшим поражением древостоя; 2) леса со средними показателями пораженности; 3) леса с единичными поражениями древостоя. Следует отметить, что куртинное повреждение кедров затрагивает в основном деревья с толщиной стволов от 20 см, более мелкие экземпляры и подрост во всех местах обитания не имеют визуальных признаков патологического усыхания. В первую категорию нами были отнесены леса, где в куртинах доля поврежденных деревьев составляет 60 % и более. Вторая категория представлена лесами с повреждением кедра от 20 до 60 %. В лесах третьей категории повреждение кедра носит единичный характер или не наблюдается совсем. Кроме кедра, бактериальная водянка повреждает пихту, но в меньшей степени. Повреждения ели бактериальной водянойкой не отмечено.

Предварительная оценка площадей поврежденных темнохвойных лесов Хамар-Дабана следующая: леса с наибольшим поражением кедрового древостоя — 1950 км<sup>2</sup>, со средними показателями пораженности — 310 км<sup>2</sup>, с единичными поражениями — 1370 км<sup>2</sup>.



Рис. 1. Общий вид поврежденных кедров в западной части р. Хамар-Дабан (фото А.П. Софронова).

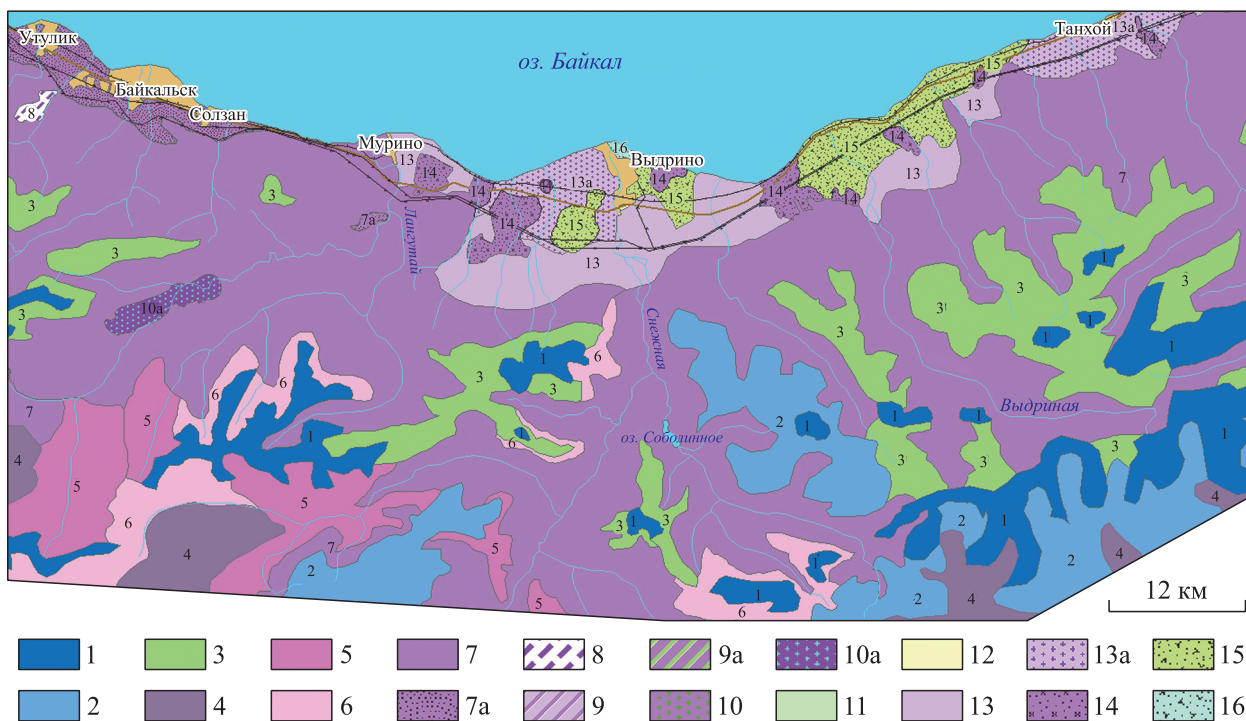


Рис. 2. Фрагмент карты геосистем северного макросклона хр. Хамар-Дабан м-ба 1:300 000.

Усл. обозн. — см. легенду.

**Легенда к фрагменту карты геосистем северного макросклона хр. Хамар-Дабан м-ба 1:300 000**

**А. СЕВЕРОАЗИАТСКИЕ ГОЛЬЦОВЫЕ И ТАЕЖНЫЕ ГЕОСИСТЕМЫ**

**А<sub>1</sub>. ВЫСОКОГОРНЫЕ ЮЖНОСИБИРСКИЕ**

1. Баданово (*Bergenia crassifolia*)-кашкарново (*Rhododendron aureum*)-чернично (*Vaccinium myrtillus*)-филлодоциевые (*Phyllodoce caerulea*) лишайниковые пустошные фации вершин и склонов.

2. Ерниково (*Betula rotundifolia*)-ивовые (*Salix saxatilis*) фации в сочетании с субальпийскими луговинами пологих склонов и водосборных понижений.
3. Альпинотипные (*Aquilegia glandulosa*, *Trollius sajanensis*) и субальпинотипные (*Geranium albiflorum*, *Saussurea latifolia*) луга в сочетании с кустарниковыми (*Betula rotundifolia*, *Salix glauca*, *Duschekia fruticosa*) зарослями.

#### А<sub>2</sub>. ГОРНО-ТАЕЖНЫЕ БАЙКАЛО-ДЖУГДЖУРСКИЕ

4. Кедровостланиковые с багульником золотистым (*Rhododendron aureum*) и брусничкой (*Vaccinium vitis-idaea*) лишайниково-моховые сообщества выположенных поверхностей и склонов.

#### А<sub>3</sub>. ГОРНО-ТАЕЖНЫЕ ЮЖНОСИБИРСКИЕ

5. Кедрово-пихтовые баданово-кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Rhododendron aureum*)-зеленомошные с участками ерников и кедровостланиковых зарослей редколесья горных долин.
6. Темнохвойные баданово-кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, *Empetrum nigrum*, *Rhododendron aureum*)-лишайниково-зеленомошные с участками субальпийских лугов и кедровостланиковых зарослей редколесья водоразделов и склонов.
7. Кедрово-пихтовые и пихтово-кедровые часто с елью душекиевые (*Duschekia fruticosa*) кустарничково (*Ledum palustre*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*)-бадановые зеленомошные, бруснично-мелкотравно (*Trientalis europaea*, *Maianthemum bifolium*, *Mitella nuda*)-зеленомошные леса крутых склонов.
  - 7а. Осиново-березовые душекиевые кустарничковые травяные с баданом производные сообщества разного возраста.
8. Кедровые с лиственницей душекиевые (*Duschekia fruticosa*) кустарничково-багульниковые мелкотравно (*Trientalis europaea*, *Maianthemum bifolium*, *Mitella nuda*)-зеленомошные (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) с баданом леса крутых склонов.
9. Кедрово-лиственничные склоновые леса с присутствием кедрового стланика в подлеске.
  - 9а. Березовые с кедром и елью с присутствием кедрового стланика производные сообщества.
10. Кедровые с лиственницей брусничные часто с баданом мелкотравно-зеленомошные леса.
  - 10а. Березовые и осиновые бруснично-разнотравные и бруснично-зеленомошные производные сообщества.
11. Елово-тополевые (*Populus suaveolens*) с кедром душекиево-ивовые вейниково (*Calamagrostis langsdorffii*)-крупнотравно (*Aconitum septentrionale*, *A. baicalense*, *Saussurea latifolia*, *Trollius sajanensis* и др.)-зеленомошные долинные леса.
12. Сосновые и лиственнично-сосновые леса рододендровые (*Rhododendron dauricum*) со спиреей (*Spiraea media*) вейниково-разнотравные и орляковые (*Pteridium pinetorum*).

#### А<sub>4</sub>. ПОДГОРНО-КОТЛОВИННЫЕ ЮЖНОСИБИРСКИЕ

13. Пихтово-кедровые с елью черничные зеленомошные (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*) и черничные мелкотравно-зеленомошные леса подгорные равнинные по низким водоразделам.
  - 13а. Березовые разнотравно-черничные производные сообщества.
14. Болота верховые и переходные осоково-сфагновые и кустарничково (*Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *Oxycoccus microcarpus*)-осоково-сфагновые с редианами из кедра, ели и березы подгорных равнин.
15. Березовые заболоченные кустарничково-осоково-злаково-моховые часто с кедром, елью подгорных равнин.
16. Злаково-разнотравные с разреженными мелколиственными и осоковыми низинными болотами приозерные.

Анализ данных космосъемки и проведенных натурных исследований показал, что основная часть поврежденного древостоя сосредоточена в западном и восточном районах хребта, при относительно незначительном повреждении деревьев в центральной части. Основная часть поврежденного древостоя приходится на геосистемы горных склонов, развивающиеся на абсолютных отметках от 600 м над ур. моря и выше. Кедровые нижней части горно-таежного пояса практически не повреждены, или наблюдаются лишь единичные усыхающие деревья. Представляется вероятным, что данное распределение лесов по усыханию кедрового древостоя коррелирует с распределением осадков по району исследования: наименьшее повреждение лесов отмечается в наиболее влажной, центральной области — нижней части горно-таежного пояса, наиболее подверженного увлажняюще-охлаждающему влиянию оз. Байкал, а также в долинных лесах.

Масштабы усыхания темнохвойных лесов Хамар-Дабана от бактериальной водянки сопоставимы с повреждением древостоя в результате массового размножения сибирского шелкопряда в середине XX в. Тогда здесь погибло 600 тыс. га кедров [23].

Анализ изменчивости радиального прироста кедра и пихты на ключевом участке в восточной части Хамар-Дабана, в наиболее поврежденных древостоях (Бабушкинское лесничество), позволил опре-

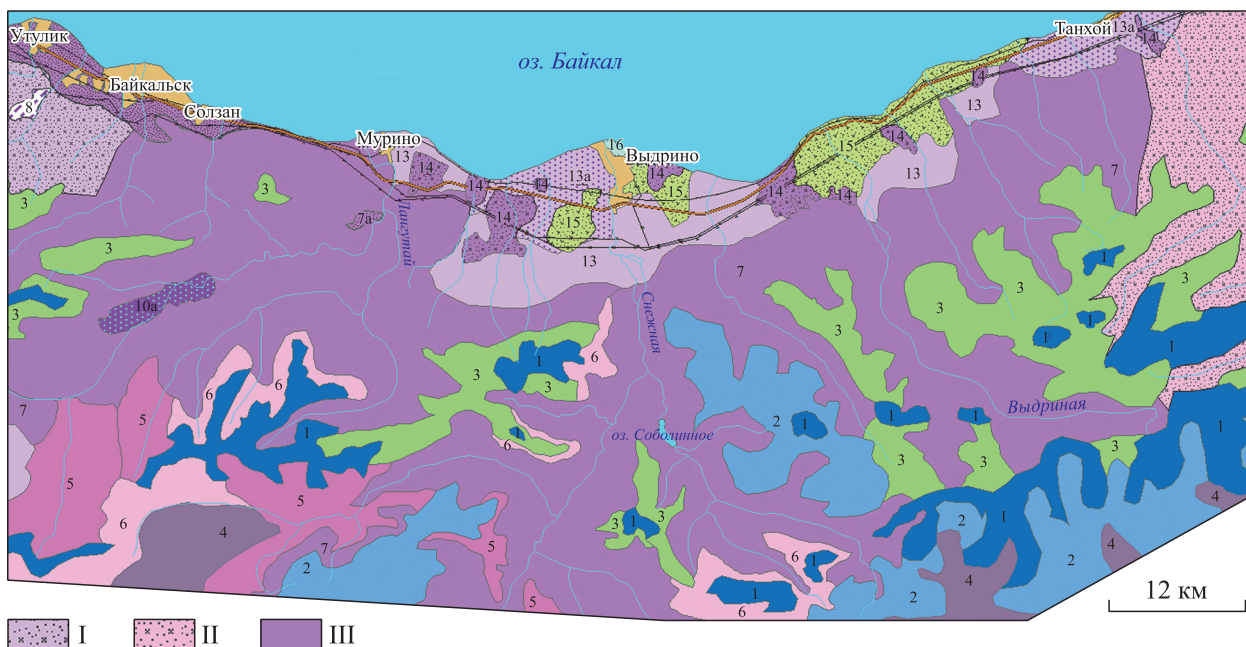


Рис. 3. Фрагмент карты геосистем северного склона хр. Хамар-Дабан м-ба 1:300 000 с оценкой пораженности лесов бактериальной водянкой.

1–16 — см. легенду. Леса: I — с наибольшим поражением древостоя, II — со средними показателями пораженности древостоя, III — с единичными поражениями.

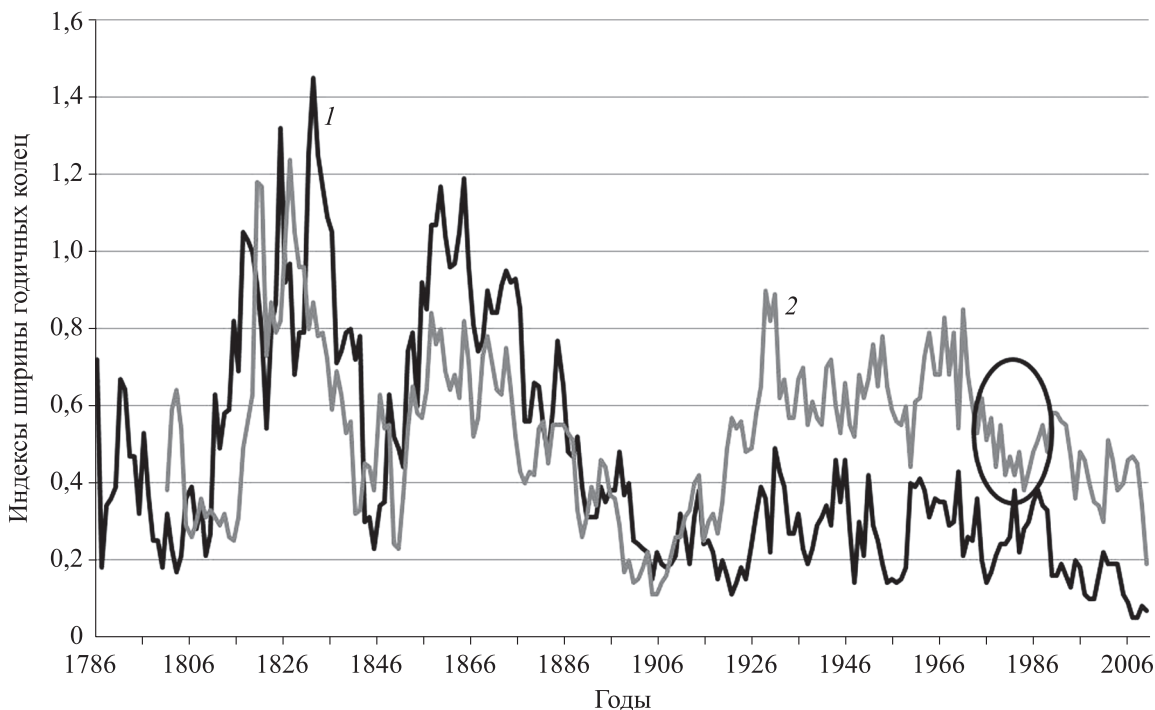


Рис. 4. Графики ширины годичных колец пихты сибирской (1) и кедра сибирского (2) из древостоев восточной части хр. Хамар-Дабан.

Овалом выделена депрессия радиального прироста кедра в 1970–1990 гг., вызванная заготовкой шишек методом околачивания стволов (данная депрессия у пихты отсутствует).



делить начальный период развития болезни и выяснить динамику ослабления темнохвойных лесов. Установлено, что при поражении бактериальной водянкой общим для пихты и кедра является короткий отрезок пролетального снижения радиального прироста (рис. 4). В нашем случае у пихты он обозначился в 2003 г. С этого года в Прибайкалье началось долговременное снижение количества летнего атмосферного увлажнения. Негативные тенденции радиального прироста кедра проявились чуть позже, с 2006 г., когда количество осадков стало существенно ниже средней нормы. Анализируемые деревья кедра погибли в 2009 г., после трехлетнего дефицита атмосферного увлажнения [1]. Аналогичные результаты были получены при исследовании реакции темнохвойных древостоев на изменения климата в этом же районе Хамар-Дабана при дистанционном изучении динамики состояния лесов, сопряженном с анализом динамики индекса сухости — Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) [2].

По данным авторов, спад радиального прироста кедра фиксируется с середины 1980-х, далее, после засухи 2003 г., сильно повлиявшей на прирост, происходит разделение деревьев на две категории — «выжившие» и «усыхающие». Тренды падения прироста и индекса сухости проявляются в один период и обладают синхронностью. Индекс прироста кедра из категории усыхающих деревьев и индекс сухости SPEI за вегетационный период связаны значимой корреляционной зависимостью ( $r = 0,89$ ). Таким образом, древостои, поврежденные бактериальной водянкой, могут быстро погибнуть при наступлении неблагоприятной погодной ситуации, в нашем случае — при возникновении продолжительной засухи.

Анализ состояния кедрового подроста в нарушенных лесах свидетельствует об удовлетворительном возобновлении кедра: количество жизнеспособного подроста в среднем составляет 2–3 тыс. экз./га. На основании этого можно было бы прогнозировать восстановление кедровых лесов после затухания вспышки бактериальной водянки и при отсутствии деструктивных факторов. В то же время наличие большого количества сухостоя кедра в среднегорном поясе Хамар-Дабана многократно увеличивает опасность возникновения в ближайшие годы крупномасштабного пожара, который может уничтожить не только оставшиеся в живых спелые кедровые древостои, но и подрост, что ставит под сомнение перспективы естественного возобновления здесь темнохвойных лесов.

Следует добавить, что у больных деревьев бактериальная водянка привела к деградации шишек. Поврежденные шишки отличаются обильным выделением смолы, которое происходит при полном отсутствии повреждений какими-либо насекомыми и является точным диагностическим признаком бактериальной зараженности. Нередко они расположены на одних и тех же ветках, иногда соседствуют с зелеными, нормально развитыми шишками. Во многих случаях отмечалась сильная, почти стопроцентная засмоленность исследуемых шишек. Бактериальную зараженность шишек и семян хвойных пород ранее отмечали как один из наиболее характерных признаков бактериальной водянки [24, 25]. Негативную трансформацию претерпела и пыльца больных деревьев. По сравнению с пыльцой из контрольных древостоев, пыльца больных деревьев имеет низкие показатели содержания питательных веществ, большую часть пыльцевых зерен составляют незрелые, лишь 29–37 % зерен способно к прорастанию при значительном сокращении длины пыльцевых трубок.

Таким образом, ухудшение семенного материала поврежденных бактериальной водянкой деревьев кедра, снижение качества пыльцы негативно отражаются на лесовозобновительном процессе темнохвойных лесов Хамар-Дабана, который может быть прерван в результате интенсивного крупномасштабного лесного пожара при наличии значительного объема сухого горючего материала погибших лесов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причиной усыхания кедровых лесов на Хамар-Дабане представляется длительный период маловодья, наблюдающийся с 2003 г., который спровоцировал развитие инфекционных заболеваний в ослабленных насаждениях. Массовое усыхание лесов приурочено к 2009 г.

Наибольшие площади пораженного древостоя сосредоточены в крайних районах Хамар-Дабана, при слабой пораженности лесов центральной области, что, по-видимому, связано с распределением осадков по территории. По характеру высотной приуроченности наиболее пораженные древостои сосредоточены в средней и верхней частях темнохвойных геосистем горно-таежного пояса. Объем усыхания темнохвойных лесов сопоставим с масштабом гибели древостоя в результате вспышки численности сибирского шелкопряда в регионе в XX в.

В настоящее время кедровый подрост обеспечивает нормальное течение восстановительных сукцессий кедровых лесов. В то же время отмечается деградация шишек кедра и негативная трансформация пыльцевых зерен в древостоях, пораженных бактериальной водянкой, что снижает активность лесовозобновительного процесса.

Большую опасность для лесовосстановления представляют пожары, которые при значительных объемах горючего материала, сформированного в результате усыхания кедровых лесов, могут потенциально охватить обширные площади, замедлить процессы лесовосстановления, оказать негативное влияние на общее биоразнообразие региона и вызвать активные эрозионные процессы на крутых склонах хребта.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (17–29–05089 офи\_м, 17–29–05074 офи\_м и 18–05–00557 А).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воронин В.И., Ставников Д.Ю., Морозова Т.И., Осколков В.А., Буянтуев В.А., Михайлов Ю.З., Говорин Я.В., Середкин А.Д., Шуварков М.А.** Бактериальное повреждение кедровых лесов Прибайкалья // Лесн. хоз-во. — 2013. — № 3. — С. 39–41.
2. **Kharuk V.I., Im S.T., Oskorbin P.A., Petrov I.A., Ranson K.J.** Siberian pine decline and mortality in southern Siberian mountains // Forest Ecology and Management. — 2013. — N 310. — P. 312–332.
3. **Байкал: Атлас. Карты / Гл. ред. Г.И. Галазий.** — М.: Федер. служба геодезии и картографии России, 1993. — 160 с.
4. **Черепанов С.К.** Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). — СПб.: Мир и семья, 1995. — 992 с.
5. **Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения) / Под ред. Л.И. Малышева.** — Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 2008. — 327 с.
6. **Елова Н.А.** Реликты широколиственных лесов в пихтовой тайге Хамар-Дабана // Изв. Биол.-геогр. науч.-исслед. ин-та при Ирк. ун-те. — 1956. — Т. 16, № 1–4. — С. 26–61.
7. **Атлас Иркутской области / Отв. ред. И.П. Заруцкая.** — М.; Иркутск: ГУГК, 1962. — 182 с.
8. **Убугунова В.И., Цыбжитов Ц.Х.** Закономерности вертикально-поясного распределения почв центральной части хр. Хамар-Дабан // Почвоведение. — 1987. — № 12. — С. 14–24.
9. **Слюдянский район Иркутской области: природа, хозяйство и население: Атлас / Ред. Л.М. Корытный.** — Иркутск, 2012. — 50 карт. — CD-диск.
10. **Белов А.В., Лямкин В.Ф., Соколова Л.П.** Картографическое изучение биоты. — Иркутск: Облмашинформ, 2002. — 160 с.
11. **Suvorov E.G., Novitskaya N.I.** Spatial structure of mountain forests of the Lake Baikal southwestern coast // Global Journ. of Human-Social Science Research. — 2017. — Vol. 27, Iss. 4, Version I. — P. 27–38.
12. **Растительность хребта Хамар-Дабан / Ред. Г.И. Галазий.** — Новосибирск: Наука, 1988. — 113 с.
13. **Чепинога В.В., Протопопова М.В., Павличенко В.В.** Выявление вероятных плейстоценовых микрорефугиумов на северном макросклоне хребта Хамар-Дабан (Южное Прибайкалье) // Сиб. экол. журн. — 2017. — Т. 24, № 1. — С. 44–50.
14. **Сочава В.Б.** Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 320 с.
15. **Сочава В.Б.** Растительный покров на тематических картах. — Новосибирск: Наука, 1979. — 190 с.
16. **Шенников А.П.** Введение в геоботанику: Учебное пособие. — Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. — 447 с.
17. **Полевая геоботаника / Ред. А.А. Корчагин, Е.М. Лавренко.** — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1972. — Т. 4. — 336 с.
18. <https://glovis.usgs.gov> (дата обращения 20.02.2019).
19. **Cook E.R., Kairiukstis L.A.** Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. — Dordrecht: Springer Science & Business Media, 1990. — 155 p.
20. **Rinn F.** TSAP version 3.5. Reference manual. Computer Program for tree-ring analysis and presentation. — Heidelberg, 1996. — 264 p.
21. **Campeño F., Gargna-González I., Nabais C.** DetrendeR—A graphical user interface to process and visualize tree-ring data using R // Dendrochronologia. — 2012. — Vol. 30, N 1. — P. 57–60.
22. **Воронин В.И., Осколков В.А.** Состояние лесовосновления в сосновых лесах Верхнего Приангарья // Оценка состояния водных и наземных экологических систем. — Новосибирск: Наука, 1994. — С. 115–122.
23. **Рожков А.С.** Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним. — М.: Наука, 1965. — 180 с.
24. **Щербин-Парфененко А.Л.** Бактериальные заболевания лесных пород. — М.: Гослесбумиздат, 1963. — 148 с.
25. **Голгофская К.Ю., Щербин-Парфененко А.Л.** Усыхание пихты в Кавказском заповеднике // Фитопатогенные бактерии. — Киев: Наук. думка, 1975. — С. 302–305.

*Поступила в редакцию 07.02.2019*

*После доработки 22.03.2019*

*Принята к публикации 26.06.2019*