



DOI: 10.21178/2079–6080.2025.4.122
УДК 630*161:581.552

Прогнозирование плодоношения кедра в горах Южной Сибири

© И.И. Брюханов

Forecast of seed production of *Pinus sibirica* du Tour in the mountains of Southern Siberia

I.I. Bryukhanov (Sukachev Institute of Forest SB RAS)

Studies have shown that preserving the undergrowth in 30-year-old clearings has yielded positive results in the formation of Siberian cedar (cedar) forests instead of drying ones. The organization of nut-harvesting zones with a ban on cedar felling and its subsequent drying out have led to economic losses of valuable timber and a by-product of the lifetime use of cedar plantations. An important part of the cedar forest restoration process is fruiting, despite the difficulty of predicting which, it is possible to determine the highest probability by using the method of mathematical modeling. When constructing a model, the most complete consideration of influencing factors is necessary. For further evaluation of the parameters of the resulting linear model, it is possible to use the least squares method. When the model is presented as a linear combination of climatic conditions, it is quite possible to apply this method to optimize the yield forecasting error. In addition, taking into account the fact that the constructed mathematical model assumes time dependencies (for example, the influence of climate in previous years), it is also possible to use time series analysis. Determining the weights of the influence of climatic conditions in the further use of the presented mathematical model is also one of the important factors. In the course of our calculations for the study areas, the following dependencies were established. A positive value (γ) indicates a significant influence of climatic conditions two years ago. A negative value (β) indicates a possible inversion effect of last year's climate. The fact that (α) is close to zero may mean a weak direct influence of current climatic conditions. It is necessary to take into account that the greater the number of observations, the higher the statistical significance of the estimates.

Keywords: Siberian cedar, seed production/fruiting, drying out of Siberian cedar forests, restoration, undergrowth, consumers of cedar seeds, mathematical modeling of fruiting

Прогнозирование плодоношения кедр в горах Южной Сибири

И.И. Брюханов

Исследования показали, что сохранение подроста на вырубках 30-летней давности дало положительные результаты формирования кедровников вместо усыхающих. Организация орехопромысловых зон с запретом рубки кедр сибирского (кедр) и его последующее усыхание привели к экономическим потерям ценной древесины и побочного ресурса прижизненного использования кедровых насаждений. Важной частью процесса восстановления кедровников является плодоношение, несмотря на сложность прогнозируемости которого есть возможность определения наибольшей его вероятности путём использования метода математического моделирования. При построении модели необходим наиболее полный учёт факторов влияния. Для дальнейшей оценки параметров полученной линейной модели возможно использовать метод наименьших квадратов. Когда модель представлена как линейная комбинация функций климатических условий, вполне возможно применить этот метод для оптимизации ошибки прогнозирования урожая. Кроме того, принимая во внимание то обстоятельство, что выстраиваемая математическая модель предполагает временные зависимости (например, влияние климата в предыдущие годы), также существует возможность воспользоваться анализом временных рядов. Определение весов влияний климатических условий в дальнейшем использовании приводимой математической модели – ещё один из важных факторов. В ходе проведённых расчётов по территориям исследования установлены следующие зависимости. Положительное значение γ указывает на существенное влияние климатических условий двухлетней давности. Отрицательное значение β указывает на возможный инверсионный эффект климата прошлого года. То, что α близка к нулю, может означать слабое непосредственное влияние текущих климатических условий. Необходимо принять во внимание, что чем больше число наблюдений, тем выше статистическая значимость оценок.

Ключевые слова: кедр сибирский, семеношение/плодоношение, усыхание кедровников, восстановление, подрост, потребители семян кедр, математическое моделирование плодоношения

Брюханов Игорь Иванович – руководитель группы сопровождения научных разработок
E-mail: bruyhanov.ii@ksc.krasn.ru; igor_i_b@mail.ru

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

660036, Российская Федерация, Красноярск, Академгородок, д. 50/28

Телефон: (391) 249-44-47

Введение

Сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica* du Tour)? либо, как принято называть, кедр сибирский, кроме фитонцидных свойств и ценной древесины, экономически значимой для лесного хозяйства, дает незаменимые по своей полезности продукты семеношения/плодоношения – кедровый орех. Он ценен как источник лецитина, содержит аминокислоты – лизин, метионин, триптофан. Кедровый орех добывают как в промышленных масштабах, так и для нужд местного населения, также он является важной частью кормовой базы для диких животных и птиц.

Массовое усыхание кедровников на территориях исследования негативно отражается на биологическом разнообразии и экологической составляющей лесов. Ученые выдвигают различные гипотезы в попытке объяснить причины усыхания. Например, изменение климата, повышение температуры, которое стимулирует активность насекомых вредителей [20]. Изучается влияние антропогенных факторов – загрязнение почв тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами [12], вырубка лесов, в частности с несоблюдением технологических требований [16]. Подробно анализируются воздействия на кедр бактериальных инфекций и грибковых патогенов.

Сложно переоценить актуальность возобновления кедров, в частности после повреждения насаждений корневыми патогенами и рубками темнохвойных древостоев, в составе которых кедр сибирский также представлен [6, 15]. Следует отметить, что возобновление кедров отличается в зависимости от мест произрастания [8, 11]. В крупнотравных типах леса кедровый подрост отсутствует, а при участии в составе лиственных пород, дающих при рубке поросль, и быстром зарастании лесосек крупнотравьем возобновление кедров невозможно. Оно происходит только под пологом в жердняковой, мертвопокровной стадии порослевого возобновления лиственных пород или при искусственном создании лесных культур кедров. Посев и посадка произво-

дятся в нескольких вариантах: на бульдозерных площадках, под защитой кедровых пней и с защитной обработкой семян (орехов) от поедания дикими птицами и животными [10]. Второй способ более предпочтителен, поскольку позволяет экономить посевной материал, гарантирует успешность возобновления кедров и имитирует зоохорную гнездовую посадку семян под «кедровку» [7]. Несмотря на частое и обильное плодоношение кедров, в гумидной зоне Западного Саяна и в крупнотравных типах леса высокая плотность потребителей кедрового ореха (в 1,5–2 раза выше при отсутствии динамики численности), что исключает формирование достаточного количества подроста для смены (замены) материнского полога [3, 13, 15, 17, 19]. Перечисленные обстоятельства не позволяют в крупнотравных типах гумидного пояса прогнозировать успешность естественного предварительного возобновления кедров.

В пирогенных условиях 60–80-летней цикличности пожаров (большая часть Восточных Саян – мелкотравные и зеленомошные группы типов леса) кедр успешно возобновляется на горячих, вырубках и под материнским пологом [6]. Этому способствует породный состав (отсутствие лиственных), крупнотравье, наличие подроста и низкая плотность потребителей орехов, особенно на свежих горячих. Задача при заготовке кедровой древесины материнского полога – в сбережении подроста, что значительно сокращает срок (на 30–40 лет) гарантированного возобновления кедровников.

Благие намерения сохранить кедр сибирский как вид (рубка кедровников с составом в формуле древостоя более двух единиц запрещена) обернулись для него трагедией. В итоге рубка кедров не остановлена, выделенная орехово-промысловая зона превратилась в место экологической катастрофы. Кедровники стали массово (до 1 млн га только в Хакасии) усыхать с потерей ресурсных и средообразующих свойств. Кедровое хозяйство принялись вести за счет других древесных пород. Если рубки имели технологические ограничения, пожа-

ры — географические, то усыхание происходит в любом ландшафте без известных (нормативных) правил. Остановить гибель старовозрастных кедровников, очевидно, невозможно, но их восстановление — актуальная задача современного лесоводства. Самовоспроизводство — основное свойство лесных экосистем. Оно начинается с плодоношения и формирования подроста, поэтому им уделяется больше внимания. Моделирование результата плодоношения с учетом натуральных данных и климатических изменений в ареале кедровника — одна из сложных задач экологии.

Цель проведенных исследований — анализ возможности возобновления усыхающих кедровников, математическое прогнозирование плодоношения кедровника сибирского.

Методика и объекты исследования

Полевой материал был собран и сделаны выводы по южной части (гумидной) восточного макросклона Кузнецкого Алатау и Западного Саяна (Копьёвское и Матурское лесничества) с характерным влажным климатом, преобладанием высококотравных типов леса и вырубок с доминированием порослевого листового возобновления. Второй объект — кедровые леса северного макросклона Восточного Саяна, где преобладает «сосновый», мелкотравно-бадановый тип горных кедровников с периодическим прогоранием и прямым возобновлением кедровника (Абазинское лесничество).

В двух географически разных объектах, отличающихся по режиму увлажнения, обследовано по три группы типов насаждений (зеленомошные, черничные, травянистые), сплошные и выборочные санитарные, а для заготовки древесины — бессистемные рубки. На них оценивалось физиологическое состояние вырубленных деревьев, их состояние, а также густота и жизнеспособность подростов, что определяло стратегию возобновления кедровников [9]. По степени засмолённости луба выяснялись причина и скорость гибели кедровых насаждений, а по радиальному приросту опреде-

лялась история формирования кедровников.

Сплошная санитарная рубка (ССР) заключалась в рубке деревьев с пазух и валке их на волокна, с последующей трелёвкой за вершину ствола. В подгольцовой зоне гумидного пояса ССР проводилась летом, бессистемно, с технологией (технологической картой), требующей уточнения экспертами в области лесоведения, в частности способа трелёвки сваленных стволов, которая фактически осуществлялась в том числе за вершину.

Учет мелких млекопитающих (ММ) как основных потребителей кедровых орехов выполнялся с помощью ловушек Геро. По методике ловчие линии закладывались в центре вырубок и в качестве фона — в прилегающих насаждениях. Как показали предшествующие исследования, необходимо размещать ловушки далее 100 м от опушки (стены леса) [18]. Это позволяло оценить реакцию ММ на рубку кедровников и возможное изъятие семян. Всего заложено четыре площадки с экспонированием ловушек на двое суток (360 лов.-суток). Отлов проводился в июле-августе 2012 г.

Результаты и их обсуждение

Как показало обследование пней кедровника на рубках, независимо от географического положения все деревья засыхали сразу, без снижения радиального прироста в последние годы (рис.).

Подобные явления мгновенного и массового усыхания деревьев пихты и кедровника не наблюдались ранее. Это свидетельствует о наличии другого фактора, влияющего на физиологическое ослабление деревьев и на возможность классического последующего повреждения луба и древесины ксилофагами.

Плодоношение кедровника — прогнозируемое явление, но разносемянность и образование жизнеспособного подростов кедровника сибирского — сложные процессы [17]. Многочисленные попытки и варианты (включая наши эксперименты) посева семян кедровника оказались безуспешными, поскольку выедались трофическими потребителями [7].



В начале роста дерева



В конце роста дерева

Рис. Радиальный прирост кедра в очаге усыхания

На лесосеке гумидного кедровника и в прилегающих фоновых кедровых насаждениях при проведении учёта ММ установлено, что их плотность выше на лесосеке. Очевидно, трелёвкой разрушены укрытия ММ (70 % поверхности лесосеки минерализовано, поскольку проводилась сплошная разработка без пазок) и у них повысилась двигательная и трофическая активность.

Плодоношение кедра, в частности, зависит от благоприятной цикличности погодных условий. Климат меняется, весна наступает раньше, а осень позже, нарушаются привычные ритмы сезонного развития дерева, к которым адаптировано плодоношение. Погодные факторы влияют на формирование женских и мужских шишек, на режим их опыления. Именно репродуктивные циклы двухлетнего формирования урожая кедра наиболее уязвимы для негативного внешнего воздействия – низкой или высокой температуры, нехватки или избытка осадков [2].

Потепление климата и нарушение циркуляции атмосферы негативно влияют на горные кедровники. Хуже всего адаптируются особи, произрастающие на краю ареала, они наиболее уязвимы перед ограничивающими факторами, связанными с климатическими изменениями (патогенными грибами, насекомыми-вредителями, пожарами) [4]. Как пока-

зали наши наблюдения, плодоношение более чувствительно к погодным (климатическим) изменениям, чем вегетативный рост кедра.

Несмотря на сложность прогнозировать плодоношения сосны сибирской кедровой, актуально использование метода математического моделирования [1, 14].

Существует взаимосвязь, по которой холод и дожди в мае и июне одного года отрицательно влияют на урожай текущего года и двух последующих за ним лет. Чтобы сформировался хороший урожай требуется умеренно тёплая и относительно сухая погода в период закладки почек, озими и женских шишек, их опыления, а также достаточно влажная – в период развития будущей шишки, т. е. 2–3 года. Если условия оптимальные и или в пределах нормы, возможно с высокой вероятностью (до 85 %) предположить хорошую урожайность (с поправкой на локальные непредвиденные обстоятельства).

На основе полученных нами данных составлена формула плодоношения сосны сибирской кедровой [1, 14]. Она учитывает многие природные факторы, влияющие на плодоношение. Урожай (Y_t) в заданном году (t), зависит от климатических условий (C_t) в конце мая – начале июня года (t), выраженные шкалой от «-1» (неблагоприятные) до «+1» (оптимальные). В формуле возможно присутствие

функций, отображающих влияние климата рассматриваемого года ($f(C_t)$) на урожай за предыдущий год ($f(C_{t-1})$) и два года назад (C_{t-2}). Также возможно рассчитать математическую модель на следующий год ($f(C_{t+1})$) и через год (C_{t+2}). Кроме того, учтены степени влияния климатических условий (α, β, γ), параметры которых можно определить, используя метод наименьших квадратов, либо анализ временных рядов. Исходная (базовая) формула выглядит следующим образом:

$$Y_t = \alpha \times f(C_t) + \beta \times f(C_{t-1}) + \gamma \times (C_{t-2}),$$

Исходную (базовую) формулу возможно усовершенствовать, добавив функцию, которая моделирует влияние температуры (T) и осадков (P) в мае и июне на качество плодов текущего года ($f(T_{\text{май}}, P_{\text{май}}, T_{\text{июн}}, P_{\text{июн}})$). Также дополнительно можно ввести функцию, отражающую влияние летней температуры и влажности (R) на развитие ози́ми и урожай в будущем ($f(T_{\text{лето}}, R)$), функцию учёта непредсказуемых условий, которые могут существенно повлиять на урожайность выражается ($f(c_1, c_2, c_3)$). В усовершенствованной формуле коэффициенты (α, β) отражают влияние на урожай текущего года и будущих лет соответственно, а (γ) является базовым уровнем урожайности, определяемым оптимальными условиями. Кроме того, влияние каждой переменной на урожай возможно детализировать с помощью функции, например, гиперболической или экспоненциальной зависимости.

Таким образом, в модели приняты во внимание не только текущие климатические условия (прямое влияние на урожай шишки), но и отсроченное влияние климатических условий на формирование почек и ози́ми. Это позволяет учитывать в том числе накопленные эффекты погодных условий формирования урожая.

Вышеизложенные модели плодоношения сосны сибирской кедровой представляют собой полуструктурированные математические

модели с эмпирическим подходом, что указывает на логичное описание взаимосвязей между климатическими переменными и урожайностью. Основанием для построения моделей должны служить статистически подтверждённые данные и/или точная калибровка исторических наблюдений плодоношения данного кедровника.

При оценке потенциальной достоверности по ключевым критериям необходимо отметить, что модель не учитывает следующее:

- форс-мажорные лесопатологические факторы (болезни, вредители);
- пространственные различия (микроклимат, текущие локальные погодные изменения);
- антропогенное возникновение пожара и других непрогнозируемых факторов;
- случайную ошибку (шум), непредсказуемые изменения.

Заключение

Не снижающийся радиальный прирост во время гибели и низкая интенсивность заселения ксилофагами усыхающих кедровников указывают на отсутствие известных в настоящее время физиологических закономерностей массового отпада деревьев в горно-таёжном поясе. Теоретически можно предположить, что современные кедровники, продукт прежних климатических изменений (250–300 лет назад), и мы наблюдаем смену структуры насаждений. Одновозрастные кедровники одного поколения достигли предела своей устойчивости, и включился естественный механизм их смены, с наложением современных климатических изменений. В современной истории лесоведения высокая активность корневых патогенов (пожары и вспышки вредителей исключаются по географическому положению) и их роль в массовом отпада кедровых и пихтовых насаждений встречается впервые. Формы воздействия климатических изменений различны, и они конкретны только для данных условий произрастания. Для растительности не кор-

ректно использовать среднегодовые данные. Более информативны фенологические изменения вегетационного периода, взятые непосредственно в анализируемом насаждении. Следует отметить в других регионах иную последовательность и избирательность гибели древесных пород. На юге Енисейского кряжа вначале повреждается пихта при наличии кедра, а в Саянах – наоборот, что позволяет говорить о разных формах трофической активности корневых патогенов. Прогноз возобновления усыхающих кедровников в среднегорной части гумидного климата отличается от резко континентальных мелко-травных и бадановых типов кедровников Восточных Саян. На первой территории в крупнотравных типах возобновление кедровника возможно только искусственным путём или естественным – через смену древесных пород, но это может задержать восстановление кедра на 30–50 лет с формированием у деревьев узкой кроны и не гарантированной густотой. На второй территории, несмотря на редкие урожаи кедра, естественное возобновление в большинстве случаев обеспечено за счет формирования предварительного подростка. Следует отметить, что вырубка нарушает естественный процесс возобновления, и лесохозяйственные работы не могут компенсировать природные условия. Обследование концентрированных вырубок старше 20–30 лет и гарей после шелкопряда с листовым возобновлением показало низкую долю кедра под его пологом.

В качестве профилактических мер в борьбе с корневыми патогенами следует рекомендовать огневую очистку лесосек с частичным или полным выгоранием подстилки (природоподобная технология). Это позволит стерилизовать почвенный горизонт от грибных мицелиев и спровоцирует кедровку к «восстановлению кедра» на свежей гари.

Рубка древостоя, как и усыхание кедровников с последующим разрастанием травостоя, способствует росту плотности популяций потребителей кедровых орехов и, соот-

ветственно, исключает семенное возобновление кедра. В этих условиях перспективным становится сохранение подростка и создание лесных культур ручным способом, а именно высаживание кедра крупномерным материалом без затратной подготовки почвы.

Следует признать организацию орехово-промысловых зон в кедровниках юга Сибири с одновременным запретом рубки кедра (принимая во внимание его массовое усыхание) неудачным производственным экспериментом, который привел к экономическим потерям не только ценной древесины, но и побочного ресурса прижизненного использования кедровников. Задача по сохранению биоразнообразия кедровников, а также их средообразующей роли путем организации орехово-промысловых зон в подгольцовых кедровниках юга Сибири не выполнена. Причины неудачного производственного эксперимента требуют тщательного изучения, результаты должны найти отражение в нормативных правовых документах, регламентирующих лесные взаимоотношения и транслироваться на другие регионы с доминированием кедровых насаждений, учитывая их ландшафтные особенности.

Прогнозирование плодоношения кедра сибирского с помощью построения имитационных математических моделей является перспективным направлением исследований. Необходимо учитывать, что без эмпирической калибровки и адаптации к текущим данным, достоверность модели находится на уровне 60 %. Однако с использованием точных реальных данных можно повысить достоверность до 80–85 % для расчётного года.

Автор благодарит главного научного сотрудника лаборатории техногенных лесных экосистем Института леса им. В.Н. Сукачева КНЦ СО РАН, доктора биологических наук А.С. Шишикина за помощь в выборе объектов и организацию полевых исследований, а также консультирование на всех этапах написания данной научной статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брюханов, И.И. Разработка имитационной модели динамики кедровых древостоев Восточного Саяна / И.И. Брюханов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. – 2021. – № 6. – С. 11–17.
2. Велисевич, С.Н. Снижение урожайности кедра сибирского / С.Н. Велисевич : офиц. сайт. ТНЦ СО РАН г. Томск. – URL: <https://www.tsc.ru/> (дата обращения: 11.08.2025).
3. Владышевский, Д.В. Экология лесных птиц и зверей (Кормодобывание и его биоценотическое значение) / Д.В. Владышевский. – Новосибирск : Наука, 1980. – 264 с.
4. Жук, Е.А. Потепление климата негативно влияет на скорость естественного возобновления кедра сибирского / Е.А. Жук : офиц. сайт. ТНЦ СО РАН г. Томск. – URL: <https://www.tsc.ru/> (дата обращения: 03.08.2025).
5. Жук, Е.А. Изменчивость фенологических признаков у высотных экотипов кедра сибирского / Е.А. Жук, С.Н. Горошкевич // Вестник ТГПУ. – 2010. – № 3 (93). – С. 12–16.
6. Коновалова, М.Е. Восстановительная динамика леса на сплошных вырубках горных кедровников Южной Сибири / М.Е. Коновалова // Лесоведение. – 2015. – № 4. – С. 267–274.
7. Лоскутов, Р.И. Искусственное восстановление кедра сибирского / Р.И. Лоскутов. – М. : Лесная промышленность, 1971. – 105 с.
8. Лузганов, А.Г. Роль речных бассейнов и ветра в расселении и эволюции лиственниц, кедра сибирского и других древесных пород / А.Г. Лузганов, А.П. Абаимов // Лиственница, Т. VIII // Межвузовский сборник научных трудов. – Красноярск : СТИ, 1977. – С. 31–38.
9. Мурзакматов, Р.Т. Выборочно-статистический метод инвентаризации лесов Кыргызстана / Р.Т. Мурзакматов. – Бишкек : Полиграфбумресурсы, 2012. – 216 с.
10. Павлов, И.Н. Новая технология осенних посевов сосны кедровой сибирской / И.Н. Павлов, О.А. Барабанова, А.А. Онучин, В.В. Солдатов // Хвойные бореальной зоны. – 2009. – Т. 26, № 2. – С. 211–216.
11. Савина, Л.Н. Таежные леса Северной Азии в голоцене / Л.Н. Савина. – Новосибирск : Наука, 1986. – 145 с.
12. Седых, В.Н. Лесообразовательный процесс / В.Н. Седых. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 178 с.
13. Семечкин, И.В. Зависимость возобновления кедра сибирского от урожайности кедровников и численности мышевидных грызунов / И.В. Семечкин // Природа и лесная растительность северной части Свердловской области : труды Комиссии по охране природы УФ АН СССР. – Свердловск : Уральский фил. АН СССР, 1964. – Вып. 1. – С. 141–149.
14. Семечкин, И.В. Общие таблицы хода роста и биологической продуктивности полных («нормальных») насаждений сосны кедровой сибирской / И.В. Семечкин, А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко // Лесная таксация и лесоустройство. СибГТУ. – 2005. – № 1 (34). – С. 7–27.
15. Семечкин, И.В. Структура и динамика кедровников Сибири / И.В. Семечкин. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. – 252 с.
16. Соколов, В.А. Организация хозяйства в кедровых лесах Сибири / В.А. Соколов. – Санкт-Петербург : Изд-во Научное издание технологии, 2025. – 176 с.
17. Сташкевич, Н.Ю. Зоогенный фактор возобновления сосны кедровой сибирской в горно-таежных лесах Восточного Саяна / Н.Ю. Сташкевич, А.С. Шишкин // Сибирский экологический журнал. – 2014. – Т. 21, № 2. – С. 313–318.
18. Хлебников, А.И. Экология соболя Западного Саяна / А.И. Хлебников. – Новосибирск : Изд-во «Наука» СО, 1977. – 125 с.

19. Штильмарк, Ф.Р. Мелкие грызуны в кедровниках Западного Саяна (экология и практическое значение) : автореф. дис. ... канд. биол. наук ; Ф.Р. Штильмарк ; АН СССР, Сиб. отд-ние, Дальневост. фил. им. В.Л. Комарова. – Владивосток, 1966. – 24 с.
20. Шишкин, А.С. Население мелких млекопитающих вырубок темнохвойных лесов Енисейского края / А.С. Шишкин, Е.В. Екимов, Д.Н. Орешков, Е.С. Углова // Лесоведение. – 2014. – № 6. – С. 56–61.
21. Шишкин, А.С. Восстановление усыхающих горных кедровников юга Сибири / А.С. Шишкин, Р.Т. Мурзакматов, И.И. Брюханов // Сибирский лесной журнал. – 2024. – № 5. – С. 70–78.

REFERENCES

1. Bryukhanov I.I. Development of a simulation model for the dynamics of cedar stands in the Eastern Sayan. *Modern Science: Current Problems of Theory and Practice*, 2021, no. 6, pp. 11–17 (In Russian).
2. Velisevich S.N. Decrease in the yield of Siberian cedar. Official website. Tomsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. URL: <https://www.tsc.ru/> (accessed: 11.08.2025). (In Russian).
3. Zhuk E.A. Climate warming negatively affects the rate of natural regeneration of Siberian cedar. Official website. Tomsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. URL: <https://www.tsc.ru/> (accessed: 03.08.2025). (In Russian).
4. Vladyshevsky D.V. Ecology of forest birds and animals (Foraging and its biocenotic significance). Novosibirsk, Nauka, 1980, 264 p. (In Russian).
5. Zhuk E.A., Goroshkevich S.N. Variability of phenological characteristics in high-altitude ecotypes of Siberian cedar. *Bulletin of TSPU [Vestnik TGPU]*, 2010, no. 3 (93), pp. 12–16. (In Russian).
6. Konovalova M.E. Forest restoration dynamics in clear-cut mountain cedar forests of Southern Siberia. *Forestry [Lesovedeniye]*, 2015, no. 4, pp. 267–274. (In Russian).
7. Loskutov R.I. Artificial restoration of Siberian cedar. Moscow, Forestry industry, 1971, 105 p. (In Russian).
8. Luzganov A.G., Abaimov A.P. The role of river basins and wind in the dispersal and evolution of larch, Siberian cedar and other tree species. Larch, vol. VIII. *Interuniversity collection of scientific papers [Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov]*, Krasnoyarsk, STI, 1977, pp. 31–38. (In Russian).
9. Murzakmatov R.T. Selective statistical method of forest inventory in Kyrgyzstan. Bishkek, Polygraphbumresources, 2012, 216 p. (In Russian).
10. Pavlov I.N., Barabanova O.A., Onuchin A.A., Soldatov V.V. New technology for autumn sowing of Siberian pine. *Conifers of the boreal zone [Khvoynnyye boreal'noy zony]*, 2009, vol. 26, no. 2, pp. 211–216. (In Russian).
11. Savina L.N. Taiga Forests of Northern Asia in the Holocene. Novosibirsk, Science, 1986, 145 p. (In Russian).
12. Sedykh V.N. The forest-forming process. Novosibirsk, Publishing house of the SB RAS, 2009, 178 p. (In Russian).
13. Semechkin I.V. Dependence of Siberian pine regeneration on the productivity of pine forests and the number of mouse-like rodents. *Nature and forest vegetation of the northern part of the Sverdlovsk region. Works of the Commission for Nature Protection of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences. Sverdlovsk, Ural Branch of the USSR Academy of Sciences [Priroda i lesnaya rastitel'nost' severnoy chasti Sverdlovskoy oblasti : trudy Komissii po okhrane prirody UF AN SSSR. Sverdlovsk, Ural'skiy fil. AN SSSR]*, Sverdlovsk, 1964, is. 1, pp. 141–149. (In Russian).
14. Semechkin I.V., Shvidenko A.Z., Shchepachenko D.G. General tables of growth and biological productivity of full (“normal”) stands of Siberian cedar pine. *Forest Taxation and Forestry [Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo]*, SibGTU, 2005, no. 1 (34), pp. 7–27. (In Russian).

15. Semechkin I.V. Structure and dynamics of Siberian cedar forests. Novosibirsk, Publishing house of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002, 252 p. (In Russian).
16. Sokolov V.A. Management of Cedar Forests in Siberia. St. Petersburg, Comprehensive science Technologies, 2025, 176 p. (In Russian).
17. Stashkevich N.Yu., Shishikin A.S. Zoogenic factor of Siberian stone pine regeneration in mountain taiga forests of the Eastern Sayan. *Siberian Ecological Journal [Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal]*, 2014, no. 2, vol. 21, pp. 313–318. (In Russian).
18. Khlebnikov A.I. Ecology of the Western Sayan sable. Novosibirsk, Nauka Publishing House, SO, 1977, 125 p. (In Russian).
19. Shtilmark F.R. Small rodents in cedar forests of the Western Sayan (ecology and practical significance). Abstract of Ph. D. USSR Academy of Sciences, Siberian Branch, Far Eastern Branch named after V.L. Komarov. Vladivostok, 1966, 23 p. (In Russian).
20. Shishikin A.S., Ekimov E.V., Oreshkov D.N., Uglova E.S. Population of small mammals in clearings of dark coniferous forests of the Yenisei Ridge. *Forestry [Lesovedeniye]*, 2014, no. 6, pp. 56–61 (In Russian).
21. Shishikin A.S., Murzakmatov R.T., Bryukhanov I.I. Restoration of Drying Mountain Cedar Forests in Southern Siberia. *Siberian Forest Journal [Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal]*, 2024, no. 5, pp. 70–78. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 12.10.2025