

УДК 630*232.11; 232.31; 232.318+631.4
https://doi.org/10.25221/2782-1978_2023_3_5

https://elibrary.ru/ullzss

Качество семян сосны корейской *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. и почвенные условия её произрастания на Верхнеуссурийском лесном станции (Приморский край)

Татьяна Павловна Орехова ✉, Людмила Николаевна Пуртова,
Ирина Владимировна Киселева

Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, 690022, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: Orekhova@biosoil.ru

Получена 4 августа 2023 г.; принята к публикации 29 августа 2023 г.

Аннотация. Представлены результаты исследования качества семян сосны корейской в зависимости от почвенных условий её произрастания на Верхнеуссурийском стационаре ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН с целью отбора плюсовых деревьев по признаку орехопродуктивности. Высокое качество семян зависело от большей мощности горизонта АУ, богатого органическим веществом и высокой ферментативной активности почв, способствующей переводу элементов в более доступные формы для питания растений. Дерево № 7 имело очень крупные шишки с большим числом семян, при этом пусто-семянность урожая составила 42% из-за неблагоприятных почвенных условий. Полагаем, что показатель массы 1000 семян не всегда отражает их качество. Формированию качественного урожая семян сосны корейской способствовали следующие условия: более высокое содержание подвижного фосфора в горизонте АУ (дерево № 4) и благоприятные кислотнo-щелочные условия формирования бурозёмов. Для бурозёмов отмечена обогащённость каталазой из-за обилия растительных остатков в горизонте АУ и содержания Сорг, что свидетельствует о высокой биологической активности в их поверхностных горизонтах. Изучение изменения оптических показателей почв, в пределах фитогенных полей (ФП) модельных деревьев, позволило установить взаимозависимость между параметрами содержания органического углерода и интегральным отражением почв (R). Это позволит в дальнейшем использовать показатель R для индикации состояния плодородия почв в лесных экосистемах. Данные о качестве семян подтвердили, что оно зависит от благоприятных условий роста и месторасположения дерева.

Ключевые слова: сосна корейская, шишки, жизнеспособность, семена, пусто-семянность, бурозём, гумус, каталазная активность почв, плодородие, почвенные условия.

Korean pine, *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.: seed quality and soil conditions for growth at the Verkhneussuriysky Forest Station (Primorsky Krai, Russia)

Tatiana P. Orekhova ✉, Ludmila N. Purtova, Irina V. Kiseleva

Federal Scientific Center of the East Asian Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation

✉ Corresponding author; e-mail: Orekhova@biosoil.ru

Received 4 August 2023; accepted 29 August 2023

Abstract. This publication presents research results on Korean pine seed quality and soil conditions at the Verkhneussuriysky Forest Station of the Federal Scientific Center of Biodiversity FEB RAS. The purpose of research is selecting plus trees based on seed productivity. High seed quality depended on favorable soil conditions for tree growth: soils with thicker horizons rich in organic matter, with high soil enzymatic activity contributing to the transfer of elements into more accessible forms for plant nutrition. Tree No.7 had very large cones with a large number of seeds, while the empty seed yield was 42%. We believe that the 1000-kernel weight does not always reflect the seed quality. The soil conditions under that tree were extremely unfavorable for a high quality crop. The following conditions contributed to an efficient harvest of Korean pine seeds: higher content of mobile phosphorus in the AU horizon (tree No.4), and favorable acid/alkaline conditions for brown soil formation (Cambisols). Brown soils have high catalase enzyme activity due to abundant plant residues in the AU horizon and strong content of organic carbon, which indicates high biological activity in their surface horizons. Studying changes in optical parameters of soils within the phytogenic fields of model trees allowed

to establish the mutual correlation between the organic carbon content and the integral reflection of soils (R). This will allow us to use the indicator P to indicate the state of soil fertility in forest ecosystems in further research. Data showed that seed quality depends on favorable growth conditions and the location of the tree.

Keywords: Korean pine, cone seeds, viability, seeds, empty seeds, brown soils (Cambisols), humus, catalase activity of soils, fertility, soil conditions.

Введение

Анализ современного состояния лесной селекции и семеноводства в Российской Федерации показал (Царёв и др. 2021), что в стране происходит регресс государственного лесного генетико- селекционного комплекса (ЕГСК). При сравнении развития лесного ЕГСК в России с его состоянием в зарубежных странах (Канада, Норвегия, Швеция, Финляндия) за последние 25 лет было выявлено значительное отставание нашей страны по многим показателям. Например, интенсивность отбора плюсовых деревьев в странах Северной Европы выше в 20–60 раз, чем в России. Сокращение объектов ЕГСК наблюдалось на протяжении 20 лет и в Приморском крае (Орехова 2012; Орехова 2022).

Верхнеуссурийский биогеоценотический стационар (ВУС), расположенный в Чугуевском районе Приморского края, является научной и экспериментальной базой ФНИЦ Биоразнообразия ДВО РАН. Он находится на западном склоне северной части Южного Сихотэ-Алиня в пределах высот от 440 до 1108 м над уровнем моря. На территории стационара еще сохранились высокопродуктивные кедрово-широколиственные леса, в которых участие сосны корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zuss.) в отдельных насаждениях достигает 7–8 единиц. В целях сохранения генофонда сосны корейской (в виде выделения новых объектов ЕГСК) на территории стационара проводится работа по отбору плюсовых насаждений и кандидатов в плюсовые деревья этого ценного вида. В Приморье пока отсутствуют зарегистрированные плюсовые деревья, отобранные по признаку интенсивности плодоношения. Рекомендации по отбору деревьев на орехопродуктивность написаны в 1980-х гг. прошлого столетия (Титоренко и др. 1988; Сенчукова, Емолкина 1973). Экспериментальные работы по учету плодоношения вели в то время на промышленных лесосеках. В настоящее время рубки сосны корейской запрещены. Найти по рекомендуемым ранее признакам урожайные деревья в нарушенных насаждениях сосны корейской сегодня очень сложно. Такие насаждения и отдельные деревья сохранились только на особо охраняемых природных территориях, в заповедниках и орехо-промысловой зоне на севере края. В настоящее время требуют корректировки старые рекомендации по отбору высокопродуктивных деревьев в сохранившихся после рубок насаждениях сосны корейской. Новые рекомендации, как правило, должны разрабатываться на основе многолетних наблюдений за урожайностью деревьев, качеством формирующихся семян и оценкой почвенных условий их произрастания. Многолетние наблюдения за урожайностью сосны сибирской были проведены в различных почвенных условиях ее произрастания, а результаты рекомендованы для практического применения (Рекомендации... 2000). Подобных исследований для сосны корейской в регионе ранее не проводили.

В 2014 году на территории ВУС наблюдался обильный урожай шишек сосны корейской. Нами были отобраны кандидаты в плюсовые деревья по признаку орехопродуктивности. При анализе их урожая было установлено, что не все деревья имели высокое качество семян (Орехова 2022).

Цель настоящей работы – определить зависимость качества сформировавшихся семян сосны корейской от почвенных условий произрастания деревьев с целью отбора наиболее продуктивных плюсовых деревьев.

Материалы и методы исследования

Для анализа почвенных условий произрастания было выбрано три кандидата в плюсовые деревья сосны корейской с разными характеристиками семян (деревья №№ 3, 4, 7). При отборе деревьев по орехопродуктивности применяли временные рекомендации, составленные Г. В. Сенчуковой с Т. Ф. Емолкиной и Д. А. Титоренко с соавторами (Сенчукова, Емолкина 1973; Титоренко и др. 1988).

Во время обильного урожая в 2014 г. под модельными деревьями было собрано по 10 шишек. Морфологическое описание деревьев и характеристика урожая приведены по общепринятым в лесоводстве и семеноводстве методам (Справочник... 1978). Количественный учет урожайности деревьев вели по шкале Н. В. Кречетовой и Г. В. Сенчуковой (Указания ... 2000). Возраст деревьев устанавливали по таблицам (Справочник... 1990). Определены форма, размеры шишек, масса 1000 семян и их качество. Жизнеспособность семян установлена путем окрашивания зародыша семени с помощью раствора трифенилтетразола (ТФТ-тест) (Международные... 1984).

Описание местоположения деревьев и некоторые сведения по агрохимической характеристике их фитогенных полей приведены нами в ранее опубликованной работе (Пуртова и др. 2020).

Название почвы дано согласно Классификации и диагностике почв России (2004). Кислотность почв (рНв, рНс) исследовали потенциометрически с помощью комбинированного стеклянного электрода на рН метре HI 2215 HANNA (Аринушкина 1970).

Почвы под исследованными деревьями сильнокаменистые с укороченным профилем, расположены на склонах юго-западной экспозиции, высота над уровнем моря – до 700 м. По типу почвы отнесены к бурозёмам со следующим строением морфологического профиля: АО – АУ – ВМ–С. Морфологическое описание горизонтов АО, АУ и ВМ приведено в таблице 1. Внутри фитогенного поля деревьев почвенные образцы после снятия слоя подстилки отбирались по секторам в направлении: север, юг; по схеме: I – приствольная часть (30 см от ствола); II – средняя часть (середина проекции кроны); III – краевая часть (край проекции кроны).

Из-за обилия органических остатков в поверхностных горизонтах почв содержание органического вещества определяли по данным потери при прокаливании (ПП) в муфельной печи при температуре 550° С. Расчёт содержания органического углерода (Сорг) в горизонте АУ проводили по результатам потери при прокаливании с вводом коэффициента пересчёта (Rodeghiero et al. 2009). Общее содержание углерода (Собщ) в горизонте ВМ определяли по методу Тюрина (Аринушкина 1970). Каталазную активность исследовали газометрическим методом по Галстяну (Звягинцев 1991). Содержание фосфора определяли по методу Гинзбург-Артамоновой (Агрохимические методы... 1998). Оптические свойства почв изучали на спектрофотометре СФ-18. Спектральное отражение (ρ) фиксировали в диапазоне видимого спектра от 420 до 740 нм, с шагом 20 нм. На основе полученных данных рассчитывали параметры интегрального отражения почв (R) (Михайлова, Орлов 1986; Михайлова, Пуртова 2005).

Биологическая повторность при анализах – десятикратная. Полученные данные обработаны статистически с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel и Статистика (версия 13.3, Stat Soft Inc., USA).

Табл. 1. Морфологическое описание основных генетических горизонтов бурозёмов.

Tab. 1. Morphological description of the main genetic horizons of brown soils (Cambisols).

№ дерева No. of the tree	Ориентация Orientation	Мощность горизонта АО, см Horizon thickness, cm	Мощность горизонта АУ, см Horizon thickness, cm	Окраска, гранулометрический состав, сложение, структура горизонта АУ Color, granulometric composition, soil composition, structure of horizon АУ	Окраска, гранулометрический состав, сложение, структура горизонта ВМ Color, granulometric composition, soil composition, structure of horizon ВМ
3	Северная Northern	3–10	7–11	Темно-бурый, влажный, рыхлый, легкосуглинистый, много корней, комковато-зернистая структура	С глубины от 10 до 20 см, цвет от светло до темно-серого, плотнее горизонта АУ, крупные корни. Много мелких камней, встречаются до 3-4 см в диаметре
	Южная Southern	5–10	7–8		
4	Северная Northern	5–16*	6–20*	Темно-бурый, влажный, рыхлый, легкосуглинистый, много корней, комковато-зернистая структура; на глубине 15см и ниже встречаются камни	С глубины от 9 до 16 см (36*) см, светло-бурый, много камней, уплотнен, встречаются крупные камни до 4 см в диаметре
	Южная Southern	3–8	5–8		
7	Северная Northern	3–5	1–4	От светло- до темно-бурого, плотный, свежий, среднесуглинистый, мелко-зернистой структуры, каменистый, встречаются крупные глыбы камней, камни обнаруживаются сразу под подстилкой	С глубины от 7 до 9 см, светло-бурый, увлажнен, сильно-каменистый, глыбы камней до 15 см в диаметре
	Южная Southern	2–3	4–5		

* Высокая мощность подстилки и гумусового горизонта в северной ориентации дерева 4 обусловлены наличием разложившегося валежа в месте отбора образцов (High thickness of litter and humus horizon in the northern tree no.4 exposure is caused by decomposed dead wood at the sampling site).

Результаты и обсуждение

Деревья, у которых изучены почвенные условия произрастания, находились в генеративной стадии развития и имели возраст свыше 200 лет. Установлено, что деревья с чешуйчатым строением коры быстрее растут в высоту, формируют компактную яйцевидную форму кроны с тонкими ветвями. Напротив, «плитчатокорые» деревья имеют мощно развитую обратнояйцевидную крону и отличаются повышенным семеношением (Комарова и др. 2010). Исследованные деревья № 3 и № 7 имели трещиноватую плитчатую кору и симметричные кроны овальной и шаровидной формы (табл. 2). Причем дерево № 3, возраст которого 240 лет, с самым

Табл. 2. Характеристика модельных деревьев сосны корейской на Верхнеуссурийском стационаре.

Tab. 2. Characteristics of model Korean pine trees at the Verkhneussuriyskiy Forest Station (VFS).

№ дерева Tree No.	Возраст, лет Age, years	Форма кроны Crown shape	Диаметр кроны, м Crown diameter, m	Протяженность кроны, м (в % от длины ствола) Crown length, m/% of trunk length
3	240	Шаровидная симметричная	12.06	9.72 / 40.16
4	210	Овальная симметричная	5.27	12.02 / 57.23
7	200	Овальная симметричная	11.52	11.01 / 51.15

большим диаметром шаровидной кроны, однако с наименьшей её протяженностью. Напротив, дерево № 4 имело большую протяженность кроны, которая составляла более половины ствола. При этом каждое дерево сформировало хороший урожай, который был оценен в 4 балла (Орехова 2022).

У возрастного дерева №3 были и маленькие по размеру шишки (табл. 3). Это подтверждает сделанные ранее наблюдения о том, что у сосны корейской с увеличением возраста дерева шишки становятся мельче (Кречетова, Штейникова 1963). На ВУС самые крупные шишки (до 22 см в длину) формируются на молодых деревьях сосны корейской (Орехова 2005; Комарова и др. 2010). Показатели размеров шишек у всех деревьев имели небольшой коэффициент вариации. При этом у шишек с пустыми семенами чешуи были прямые (табл. 3), а для других деревьев характерна загнутая форма чешуй.

Табл. 3. Форма чешуй и размер шишек у деревьев сосны корейской на Верхнеуссурийском стационаре.

Tab. 3. Scale shape and Korean pine cone size at the VFS.

№ дерева Tree No.	Форма шишки и чешуй Shape of cones and scales	Длина шишки, см Cone length, cm	V, %	Ширина шишки, см Cone width, cm	V, %
3	Конусовидная, загнутые	10.90* ± 0.65**	5.96	6.00 ± 0.35	5.83
4	Цилиндрическая или Конусовидная, загнутые	15.75 ± 0.55	4.49	8.40 ± 0.42	5.00
7	Цилиндрическая или Конусовидная, прямые	13.10 ± 0.42	3.21	7.14 ± 0.21	2.94

*Средняя арифметическая величина (arithmetic mean); ** среднее квадратичное отклонение (standard deviation); V – коэффициент вариации (V is coefficient of variation).

У дерева № 4 показатель веса 1000 семян был самым высоким, а у дерева № 3 с самыми маленькими шишками были и мелкие семена, вес 1000 семян был в 2 раза меньше, чем у других деревьев (табл. 3). Тем не менее эти семена характеризовались высокой жизнеспособностью.

Дерево номер № 7 имело достаточно большую массу 1000 семян и самое большое число семян в шишке. Однако при анализе качества семян выяснилось, что жизнеспособными оказались менее половины (табл. 4). В верхней части таких шишек располагались ряды пустых семян. Коэффициент вариации количества семян в шишке варьировал от 7 до 17%, при этом другие показатели имели меньшую вариабельность.

Табл. 4. Характеристика семян сосны корейской на Верхнеуссурийском лесном стационаре.
Tab. 4. Characteristics of Korean pine seeds at the VFS.

№ дерева Tree No.	Масса 1000 семян, г 1000-kernel weight, g	V, %	Количество семян в шишке, шт. No. of seeds in a cone, pcs	V, %	Количество жизнеспособных семян, % No. of viable seeds, %	V, %
3	220.25* ± 2.78**	1.26**	111.00* ± 19.20**	17.30	92.15* ± 3.73**	4.05
4	556.00 ± 53.71	9.66	148.00 ± 16.69	11.28	94.12 ± 2.17	2.31
7	530.60 ± 22.70	4.28	169.40 ± 13.18	7.78	58.52 ± 3.13	5.35

*Средняя арифметическая величина / arithmetic mean; ** среднее квадратичное отклонение / standart deviation; V – коэффициент вариации / V is coefficient of variation.

Пустосемянность, как правило, зависит от множества факторов, которые подразделяют на две категории: внешние и внутренние. Установлено, что нарушения в эмбриональном процессе у хвойных деревьев могут произойти на любом этапе репродуктивного цикла (Третьякова 1990). У представителей рода *Pinus* L. процесс мегаспорогенеза и развития женского гаметофита происходит только после опыления семяпочек первого года развития. В семяпочках, в которых прорастание пыльцы не идет, женский гаметофит не развивается, и семяпочки деградируют (Третьякова 1990). К нарушению половой репродукции и развитию стерильности приводит не только отсутствие опыления семяпочек, но и опыление их нежизнеспособной пыльцой.

Развитие стерильности пыльцы обусловлено, как правило, засушливой погодой в период заложения флоральных меристем, продолжительными теплыми днями осенью и оттепелями в зимний период, заморозками в период прохождения в меристемах мейоза и дождливой погодой во время лета. (Noskova et al. 2009). Кроме того, установлено, что встречаются отдельные деревья, которые продуцируют стерильную пыльцу или имеют нарушения в процессе мегаспорогенеза, в результате которого женский гаметофит не развивается (Третьякова 1990). Деградиционные процессы часто происходят и в семяпочках второго года развития. При напряженности ростовых и физиологических процессов в мегагаметофите, воздействие неблагоприятных факторов среды могут также привести к ослаблению женского гаметофита и развитию пустых семян (Третьякова, Минеев 2021).

Полагаем, что в нашем лесном фитоценозе можно исключить отрицательное влияние метеорологических факторов на образование значительного количества пустых семян в шишках дерева № 7. Расположенные рядом деревья № 3 и № 4, напротив, имели очень высокую жизнеспособность семян и наименьшую пусто-семянность (табл. 4). Климатический фактор в данном случае не был решающим при формировании семян. Однако следует обратить особое внимание на то, что почвенные условия для формирования полноценного урожая под деревом № 7

были крайне неблагоприятны из-за очень небольшого слоя подстилки и гумусового горизонта (табл. 1). Если около деревьев № 3 и № 4 слой подстилки достигал от 6 до 16 см, то у дерева 7 он составил только 2–5 см. Данный фактор и размеры гумусового горизонта почвы в этом случае могли стать решающими при формировании урожая. Напротив, максимальные размеры гумусового горизонта были характерны для почв под деревьями № 3 и № 4. Кроме того, в горизонте ВМ дерева № 7 обнаружены глыбы камней диаметром до 15 см, а само дерево произрастало на самом краю склона.

Пустосемянность может зависеть от нарушения поступления питательных веществ только в верхнюю часть уже сформировавшейся шишки, например, в засушливые периоды вегетации или в период тайфунов. Дерево № 7 растет на краю крутого склона, и в период ежегодных летних тайфунов его почвенные условия резко менялись. Вероятно, из почвы этого дерева во время летних тайфунов происходило вымывание питательных веществ, которых и не хватило для формирования полноценных семян. Об этом свидетельствуют и низкие показатели содержания гумуса, светлая окраска почвы, которые подтверждались высокими параметрами интегрального отражения (до 41.6%), а также высокая каменистость почв. Однако было установлено, что сосна корейская имеет хорошо развитую поверхностную корневую систему, которая позволяет произрастать этому виду на мелких и бедных почвах крутых склонов и скалистых гребнях до 750–800 м над ур. м. (Комарова и др. 2010). В переувлажненных местообитаниях с плохим дренажом корневая система значительно слабее.

В данном случае дерево не смогло полностью обеспечить формирование полноценного урожая из-за недостатка поступающих из почвы питательных веществ. Пустосемянность может быть обусловлена и генотипическими особенностями отдельных деревьев (Рекомендации... 2000). Этот показатель нами не рассматривался, поскольку не определены генотипы деревьев.

Физико-химические показатели почв внутри фитогенных полей северной и южной ориентации этих деревьев различались. Ранее нами проведен более подробный анализ свойств исследуемых почв, в зависимости от удаленности точек опробования от ствола дерева в различных секторах фитогенного поля ФП (Пуртова и др. 2020). В данной работе основное внимание уделено изучению физико-химических показателей почв в зависимости от их положения (север, юг) в пределах ФП (табл. 5). Как показали результаты проведенных исследований, рост деревьев сосны корейской на данной территории происходит в основном в условиях слабокислой и среднекислой реакции среды, судя по полученным данным рНв в горизонте АУ, в соответствии со шкалой оценки почв по степени кислотности, разработанной В. И. Ознобихиным и Э. П. Синельниковым (1985).

В горизонте ВМ отмечается снижение параметров рНв и рНс, и реакция среды изменяется от слабокислой до очень сильно кислой. Судя по показателям рНв в секторе северной ориентации в горизонте АУ отмечены более низкие показатели кислотности (от 5.53 до 6.16) по сравнению с южной (от 5.99 до 6.54). На наш взгляд, это обусловлено более интенсивными процессами минерализации органического вещества в южном секторе и замедлением этих процессов в северном. Значение рНс вниз по профилю бурозёмов в пределах ФП исследуемых деревьев изменялись неоднозначно. В пределах ФП дерева 3 (сосна корейская с подростом липы) реакция среды изменялась от слабокислой (горизонт АУ) до кислой (горизонт ВМ) в секторе северной ориентации, в южном направлении – от слабокислой до среднекислой. В пределах ФП дерева 4 (сосна корейская с подростом вишни) реакция

Табл. 5. Изменение физико-химических показателей почв в пределах ФП сосны корейской.
Tab. 5. Changes in physico-chemical parameters of brown soils within the phytogenic fields (PF) of Korean pine.

Горизонт Horizon	Ориентация внутри ФП / Orientation inside the PF								
	Северное / Northern			Южное / Southern					
	Показатели/ Parameters								
	pHв	pHс	Собщ, %	P2O5 мг/100 г почвы mg/100 g of soils	pHв	pHс	Собщ. %	P2O5 мг/100 г почвы mg/100 g of soils	
	Дерево № 3 (подрост липы) / Tree No. 3 (linden undergrowth)								
AY	6.16±0.31	5.90±0.29	26.10*±1.46	3.69±0.18	6.54±0.43	6.00±0.30	24.9*±1.24	3.73±0.20	
BM	6.54±0.33	4.62±0.23	4.16±0.21	2.70±0.13	5.68±0.28	5.68±0.28	6.59±0.33	3.25±0.16	
	Дерево № 4 (подрост вишни) / Tree No. 4 (cherry undergrowth)								
AY	5.92±0.30	5.21±0.26	24.70*±1.23	3.70±0.10	5.99±0.31	5.31±0.28	27.0*±1.35	4.21±0.21	
BM	5.94±0.29	4.88±0.24	6.10±0.30	3.12±0.16	5.38±0.27	4.31±0.22	6.27±0.31	3.15±0.16	
	Дерево № 7 (подрост пихты) / Tree No. 7 (fir undergrowth)								
AY	5.53±0.27	4.44±0.22	22.4*±1.12	3.43±0.17	6.16±0.41	4.98±0.25	18.7*±0.95	2.86±0.14	
BM	4.75±0.24	3.50±0.18	4.80±0.30	2.15±0.10	4.98±0.26	3.79±0.19	6.30±0.31	2.05±0.10	

* Содержание органического углерода/ organic carbon content.

среды варьировала от среднекислой до кислой в северном секторе и от среднекислой до сильнокислой в южном. Более низкие параметры рНс отмечены в горизонтах АУ и ВМ в пределах ФП дерева № 7 (сосна корейская с подростом пихты). В секторе северной ориентации (при переходе от горизонта АУ в ВМ) реакция среды, судя по рНс изменялась от сильно кислой до кислой, тогда как в южном секторе от кислой до очень сильно кислой. Более высокие показатели рН в пределах ФП сосны корейской (деревья № 3 и № 4) связаны с подщелачиванием почв из-за привноса зольных элементов с опадом широколиственных пород деревьев, произрастающих в непосредственной близости с сосной корейской. Снижение рНв и рНс в пределах ФП сосны корейской (дерево № 7) обусловлено, на наш взгляд, большим поступлением опада хвойных деревьев.

Поступление органического вещества с опадом и подстилкой в значительной мере способствовало формированию богатого органическим веществом горизонта АУ в пределах ФП сосны корейской.

Показатели Сорг в горизонте АУ изменялись от 18.7% до 26.1%. Более высокие показатели Сорг в горизонте АУ свойственны ФП дерева № 4 (27.0%) в секторе южной ориентации и дерева № 3 в секторе северной ориентации (26.1%). Полученные данные подтверждались более низкими параметрами интегрального отражения почв (21.7 и 19.9%). В горизонте ВМ содержание Собщ снижалось до 6.27% и возрастали параметры R до 27.4% (дерево № 4). Снижение Собщ до 4.16% сопровождалось возрастанием R до 38.5% (дерево № 3).

В пределах ФП сосны корейской (дерево № 7) с подростом пихты из-за поступления более трудно разлагаемого опада количество Сорг несколько сокращалось и составило в горизонте АУ сектора северной ориентации 22.4%, в южном направлении 18.7%. Уменьшение Сорг в горизонте АУ южного сектора привело к возрастанию R с 22.1% до 26.3% (табл. 6). В почвенном горизонте ВМ количество Собщ в северном секторе составило 4.80%, интегральное отражение повышалось до 41.6%, в южном секторе из-за большего содержания Собщ до 6.30% наблюдалось снижение параметров R до 37.5%. Прослеживался явно обратный характер взаимосвязи между содержанием органического углерода и интегральным отражением почв. Коэффициент корреляции для пары Сорг – R для горизонта АУ в северном

Табл. 6. Изменение показателей интегрального отражения в бурозёмах в пределах ФП сосны корейской.

Tab. 6. Changes in integral reflection values of brown soils within the phytogenic fields (PF) of Korean pine.

Горизонт Horizon	Ориентация внутри ФП Orientation inside the PF	
	Северное / Northern	Южное / Southern
	R, %	
Дерево № 3 (подрост липы) / Tree No.3 (linden undergrowth)/		
АУ	19.9 ± 0.04	22.3 ± 0.02
ВМ	38.5 ± 0.11	30.6 ± 1.06
Дерево № 4 (подрост вишни) / Tree No.4 (cherry undergrowth)		
АУ	21.7 ± 0.22	21.7 ± 0.88
ВМ	31.6 ± 3.30	27.4 ± 0.83
Дерево № 7 тоже (подрост пихты) / Tree No.7 (fir undergrowth)		
АУ	22.1 ± 1.06	26.3 ± 0.22
ВМ	41.6 ± 1.86	37.5 ± 0.59

направлении в пределах ФП исследуемых деревьев составил – 0.88, в южном направлении – 0.99.

Следует отметить равные значения параметров R (21.7%) по секторам в горизонте АУ сосны корейской с подростом вишни (дерево № 4). Это, на наш взгляд, связано с высоким содержанием Сорг и складывающимися благоприятными кислотнo-щелочными условиями формирования почв, что подтверждается данными по урожайности шишек и отличным качеством семян. Следует обратить пристальное внимание на более высокие показатели содержания подвижного фосфора в горизонте АУ сосны корейской (дерево № 4) (табл. 5), что стало одним из положительных факторов формирования высококачественных семян.

Полученные показатели тесной взаимосвязи между параметрами Сорг – R и Собщ – R позволят в дальнейшем использовать параметры R для индикации состояния плодородия почв в лесных экосистемах.

Одним из важнейших биологических показателей плодородия почв является её ферментативная активность. Ферменты образуются живыми организмами и служат биологическими катализаторами белковой природы, определяя направленность и интенсивность протекания биохимических процессов в почве (Kagasa et al. 2010). Об увеличении микробиологической активности в почве свидетельствует усиление ферментативной активности. Ферментативная активность отражает функциональное состояние почвенной микрофлоры и доступность элементов питания (Yang et al. 2008). В нашей работе основное внимание уделено ферменту каталазе (из класса оксиредуктаз), играющей важную роль в биогенезе органического вещества почвы. Проведенными исследованиями установлено, что из-за обилия растительных остатков в горизонте АУ и высокого содержания Сорг, бурозёмы имеют высокую обогащенность каталазой (Ка). В почвенном горизонте ВМ зафиксировано резкое снижение уровня обогащенности каталазой (табл. 7). Это связано с уменьшением содержания Собщ в горизонте ВМ. Установлены изменения параметров Ка в южном и северном направлении ФП сосны корейской. В пределах ФП сосны корейской у дерева № 4 обогащенность почвы каталазой изменялась от средней (горизонт АУ) до бедной в ВМ, тогда как в пределах ФП дерева № 7 от богатой (горизонт АУ) до средней (горизонт ВМ).

Табл. 7. Каталазная активность в бурозёмах в пределах ФП сосны корейской.

Tab. 7. Catalase activity in brown soils (Cambisols) within the phytogenic fields (PF) of Korean pine.

Горизонт Horizon	Ориентация внутри ФП / Orientation inside the PF	
	Северное / Northern	Южное / Southern
	Каталазная активность, O ₂ /см ³ /1 г почвы Catalase activity O ₂ /cm ³ / 1g soil	
Дерево № 3 (подрост липы) / Tree No. 3 (linden undergrowth)		
АУ	11.8 ± 0.35	11.5 ± 0.30
ВМ	1.7 ± 0.09	2.2 ± 0.11
Дерево № 4 (подрост вишни) / Tree No. 4 (cherry undergrowth)		
АУ	10.4 ± 0.16	9.6 ± 0.78
ВМ	2.5 ± 0.12	2.2 ± 0.11
Дерево № 7 тоже (подрост пихты) / Tree No. 7 (fir undergrowth)		
АУ	17.3 ± 0.87	13.1 ± 0.83
ВМ	1.7 ± 0.26	7.2 ± 0.53

Связано это, на наш взгляд, с различиями, как в содержании органического вещества, так и процессами её трансформации микрофлорой. Установлена тесная связь между показателями содержания органического углерода и каталазной активностью. Коэффициент корреляции для пары Сорг-Ка составил 0.86.

Таким образом, складывающиеся различия в физико-химических показателях почв и её ферментативной активности во многом обуславливали доступность элементов питания растениям, что в значительной мере и повлияло на продуктивность деревьев и качество урожая.

Выводы

1. Форма кроны, строение коры и качество семян у сосны корейской на Верхнеуссурийском стационаре существенно зависит от возраста дерева и почвенных условий её произрастания.

2. Показатель массы 1000 семян не всегда может отражать их качество. Почвенные условия под деревом № 7 были крайне неблагоприятны для формирования полноценного урожая в связи с низкой мощностью гумусового горизонта и расположения дерева на краю склона.

3. Высокие показатели массы и жизнеспособности семян у деревьев № 3 и № 4 связаны с благоприятными почвенными условиями их произрастания: большой мощностью горизонта АУ, богатого органическим веществом, значительной ферментативной активностью почв, более высокими показателями рН и содержанием подвижного фосфора в горизонте АУ.

4. Высокие показатели Сорг в горизонте АУ подтверждены низкими значениями параметров интегрального отражения почв. В почвенном горизонте ВМ содержание Собщ снижалось, при этом возрастали параметры R. Тесная взаимосвязь между параметрами Сорг – R и Собщ – R позволяет в дальнейшем использовать значения R для индикации состояния плодородия почв в лесных экосистемах.

5. Бурозёмы содержат большое количество каталазы, что свидетельствует об их высокой биологической активности. Различия в физико-химических показателях почв и её ферментативной активности во многом способствовали доступности элементов питания сосны корейской и повлияли на качество урожая.

Таким образом, при разработке рекомендаций по отбору плюсовых деревьев сосны корейской по интенсивности плодоношения следует учитывать расположение деревьев на местности и показатели почвенных условий их произрастания. Из кандидатов в плюсовые деревья следует исключать особи, растущие на самом краю склонов. Наличие бедного почвенного горизонта, образующегося в результате вымывания во время обильных осадков значительного количества питательных веществ из почвы, не позволяет деревьям сформировать полноценный урожай, поскольку их шишки, как правило, содержат много пустых семян.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, темы № 121031000134-6) и № 121031000144-5).

Литература (References)

Аринушкина Е. В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ. 487 с. (Arinushkina Ye. V. 1970. [Manual for chemical analysis of soils]. Moscow: MGU, 487 pp. [In Russian].)

- Звягинцев Д. Г.** (ред.) 1991. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: МГУ. 304 с. (**Zvaygintsev D. G.** 1991. [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moscow: MGU, 304 pp. [In Russian].)
- Классификация и диагностика почв России.* 2004. – М.: Изд-во Ойкумена. 341 с. (*Classification and diagnostics of Russian soils*). Moscow: Ojkumena, 341 pp. [In Russian].)
- Комарова Т. А., Ухваткина О. Н., Трофимова А. Д.** 2010. Онтоморфогенез сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) в условиях среднегорного пояса южного Сихотэ-Алиня // *Бюлл. Ботанич. сада-института ДВО РАН.* 2010. Вып. 5. С. 81–92. (**Комарова Т. А., Ukhvatkina O. N., Trofimova A. D.** 2010. [Ontomorphogenesis of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) in the middle mountain zone of Sikhote-Alin]. *Byulleten Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN* 5: 81–92. [In Russian].) <http://botsad.ru/menu/activity/izdaniya-bsi-dvo-ran/byulleten-bsi-dvo-ran/arhiv-nomerov/2010-vyp-5/>
- Кречетова Н. В., Штейникова В. И.** 1963. Плодоношение кедр корейского. – Хабаровск: ДальНИИЛХ. 60 с. (**Krechetova N. V., Shteinikova V. I.** 1963. [Fructification of Korean pine]. Khabarovsk: Dal'NIILKH, 60 pp. [In Russian].)
- Международные правила анализа семян.* 1984. – М.: Колос. 310 с. ([*International rules for seed testing*]. 1984. Moscow: Kolos, 310 pp. [In Russian].)
- Михайлова Н. А., Орлов Д. С.** 1986. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. – М.: Наука. 118 с. (**Mikhailova N. A., Orlov D. S.** 1986. [The optical property of the soil and soils ingredients]. Moscow: Nauka, 118pp. [In Russian].)
- Михайлова Н. А., Пуртова Л. Н.** 2005. Оптико-энергетические методы в экологии почв. – Владивосток: Дальнаука. 81 с. (**Mikhailova N. A., Purtova L. N.** 2005. [The optico-energetic methods of soils ecology]. Vladivostok: Dalnauka, 81 pp. [In Russian].)
- Оздобихин В. И., Синельников Э. П.** 1985. Характеристика основных свойств почв Приморья и пути их рационального использования. – Уссурийск: Изд-во Приморского сельскохозяйственного института. 72 с. (**Oznobikhin V. I., Sinel'nikov E. P.** 1985. [The basic nature of soils characteristics in Primorsky Krai and ways for their rational use]. Ussuryusk: PSI, 72 pp. [In Russian].)
- Орехова Т. П.** 2005. Семена дальневосточных деревянистых растений (морфология, анатомия, биохимия и хранение). – Владивосток: Дальнаука. 161 с. (**Orekhova T. P.** [The Korean pine seeds (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) (biological characteristics, biochemical content, recommendation for harvesting and long-time storage)]. Vladivostok: Dalnauka, 161 pp. [In Russian].)
- Орехова Т. П.** 2012. Проблема охраны генофонда сосны корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) в Приморском крае и пути ее решения // *Хвойные бореальной зоны.* Т. 30. № 3/4. С. 298–302. (**Orekhova T. P.** 2012. [The problem of the Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) gene pool conservation in Primorsky Krai and ways to resolve it]. *Conifers of the Boreal Area* 30(3/4): 298–302. [In Russian].)
- Орехова Т. П.** 2022. Характеристика деревьев и качества семян сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) на Верхнеуссурийском лесном стационаре // *Вестник ДВО РАН.* 2022. № 5. С. 60–74. (**Orekhova T. P.** 2022. [The characteristics of the trees and seed viability of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) at Verkhneussuriysky Forest Station]. *Vestnik of the FEB RAS* 5: 60–74. [In Russian].) http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_5.
- Пуртова Л. Н., Орехова Т. П., Киселева И. В.** 2020. Физико-химические показатели и каталитическая активность почв в пределах фитогенных полей плюсовых деревьев (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) на Верхнеуссурийском лесном стационаре // *Вопросы лесной науки.* Т. 3. № 2. С. 1–14. (**Purtova L. N., Orekhova T. P., Kiseleva I. V.** 2020. [The physico-chemical parameters and catalase activity of the soil in the range of phytogenic fields of Korean pine plus trees at Verkhneussuriysky forest station]. *Voprosy Lesnoy Nauki* 3(2): 1–14. [In Russian].) <https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-2-2-15>.
- Рекомендации по отбору и оценке плюсовых деревьев кедр сибирского на семенную продуктивность.* 2000. – М.: ВНИИЦлесресурс. 36 с. [*Recommendation on selection of Korean pine plus trees and estimating seed productivity*]. 2000. Moscow: VNIITSlesresurs, 36 pp. [In Russian].)

- Сенчукова Г. В., Емолкина Т. Ф.** 1973. Временные рекомендации по отбору плюсовых деревьев и закладке семенных плантаций кедра корейского, сосны обыкновенной и лиственницы даурской. – М.: ЦБНТИ. 36 с (**Senchukova G. V., Emolkina T. F.** 1973. [Temporary recommendations for selected plus trees and creating seed plantations of Korean pine, common pine, Dahurian larch]. Moscow: TSBNTI, 36 pp. [In Russian].)
- Справочник по лесосеменному делу.* 1978. – М.: Лесная промышленность. 334 с. ([*Handbook of forest seed business*]. 1978. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 334 pp. [In Russian].)
- Справочник для таксации лесов Дальнего Востока.* 1990. – Хабаровск: ДальНИИЛХ. 113 с. ([*Handbook for taxation of forests of the Far East*]. Khabarovsk: Dal'NIILKH, 113 pp. [In Russian].)
- Титоренко Д. А., Разумов П. Н., Ершов А. А.** 1988. Рекомендации по отбору плюсовых деревьев, селекционной инвентаризации лесов, закладке и формированию ЛСП и ПЛСУ ели аянской, кедра корейского и лиственницы даурской в Хабаровском и Приморском крае. – Хабаровск: ДальНИИЛХ, 16 с. (**Titorenko D. A., Rasumov P. N., Ershov A. A.** 1988. [Recommendations for selecting plus trees, forest selection inventory, creating FSP and CFSP of Jeddo spruce, Korean pine and Dahurian larch in Khabarovsk and Primorsky Krai]. Khabarovsk: Dal'NIILH, 16pp. [In Russian].)
- Третьякова И. Н.** 1990. Эмбриология хвойных (Физиологические аспекты). – Новосибирск: Наука. 157 с. (**Tret'yakova I. N.** 1990. [Coniferous embryology (physiological aspects)]. Novosibirsk: Nauka, 157 pp. [In Russian].)
- Третьякова И. Н., Минеев В. В.** 2021. Репродуктивный потенциал хвойных, соматический эмбриогенез и апомиксис // Онтогенез. Т. 52. № 2. С. 94–107. [In Russian]. Ahttps://doi.org/10.31857/S0475145021020087. (**Tretyakova I. N., Mineev V. V.** 2021. The Reproductive potential of conifers, somatic embryogenesis and apomixes. *Russian Journal of Developmental Biology* 52: 75–86. https://doi.org/10.1134/S1062360421020089
- Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации.* 2000. – М.: ВНИИЦ Лесресурс. С. 122–123. [*Guidelines for forest seed production in the Russian Federation*]. 2000. Moscow: VNIIS lesresurs, pp. 122–123. [In Russian].)
- Царёв А. П., Лаур Н. В., Царёв В. А., Царёва Р. П.** 2021. Современное состояние лесной селекции в Российской Федерации: тренд последних десятилетий // Известия высших учебных заведений. *Лесной журнал.* № 6. С. 38–55. (**Tsarev A. P., Laur N. V., Tsarev V. A., Tsareva R. P.** 2021. [The current state of forest breeding in the Russian Federation: the trend of recent decades. *Russian Forestry Journal* 6: 38–55. [In Russian].) https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-6-38-55.
- Karaca A., Cetin S. C., Tyrgay O. C., Kizilkaya R.** 2010. Soil enzymes as indication of soil quality. In: Shukla G., Varma A. (Eds). *Soil Enzymology. Soil Biology*, vol 22. Berlin, Heidelberg: Springer, 119–148 pp. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14225-3_7
- Noskova N. E., Tretyakova I. N., Muratova E. N.** 2009. Microsporogenesis and pollen formation of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) under moder climatic conditions of Siberia. *Biology Bulletin* 36(3): 317–322. https://doi.org/10.1134/S1062359009030133
- Rodeghiero M., Heinemeyer A., Schrumpt M., Bellamy P.** 2009. Determination of soil carbon stocks and changes. In: *Soil Carbon Dynamics an integral Methodology*. Oxford: Cambridge University Press, pp. 49–75. http://hdl.handle.net/10449/18924
- Yang L., Li T., Li F., Lemcoff J. H., Cohen S.** 2008. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in a cucumber field. *Scientia Horticulturae* 116(1): 21–26. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.11.001