

Научная статья
УДК 674.81+541.64

АКТИВАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ЛИГНИНА КОМПЛЕКСОМ МОЧЕВИНЫ – ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА

**Тамара Андреевна Захарова¹, Анна Сергеевна Ершова²,
Артём Вячеславович Артёмов³, Виктор Гаврилович Бурындин⁴**

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ marazaratamara@gmail.com;

² ershovaas@m.usfeu.ru;

³ artemovav@m.usfeu.ru;

⁴ buryndinvg@m.usfeu.ru.

Аннотация. В данной статье рассматриваются химические свойства гидроперита – комплекса мочевины – перекиси водорода. Мочевина и пероксид водорода являются модификаторами растительного сырья. Процесс активации лигнина с использованием гидроперита представляет практический интерес для дальнейшего химического преобразования растительного сырья при получении композиционных материалов без добавления связующих.

Ключевые слова: гидроперит, химические свойства, модификатор, лигнин, активация

Для цитирования: Активация растительного лигнина комплексом мочевины – пероксида водорода / Т. А. Захарова, А. С. Ершова, А. В. Артёмов, В. Г. Бурындин // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1051–1056.

Original article

ACTIVATION OF PLANT LIGNIN WITH UREA – HYDROGEN PEROXIDE COMPLEX

**Tamara A. Zakharova¹, Anna S. Ershova², Artyom V. Artyomov³,
Victor G. Buryndin⁴**

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ marazaratamara@gmail.com;

² ershovaas@m.usfeu.ru;

³ artemovav@m.usfeu.ru;

⁴ buryndinv@m.usfeu.ru.

Abstract. This article discusses the chemical properties of hydroperite, a complex of urea hydrogen peroxide. Urea and hydrogen peroxide act as modifiers of plant raw materials. The process of lignin activation using hydroperite is of practical interest for further chemical transformation of plant raw materials in the production of composite materials without binders.

Keywords: hydroperite, chemical properties, modifier, lignin, activation

For citation: Aktivaciya rastitel'nogo lignina kompleksom mocheviny – peroksida vodoroda [Activation of plant lignin with urea – hydrogen peroxide complex] (2026) T. A. Zakharova, A. S. Ershova, A. V. Artyomov, V. G. Buryndin. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of students and postgraduates. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1051–1056. (In Russ).

Пероксигидрат мочевины (гидроперит, УНС) представляет собой органическое соединение, содержащее молекулы водорода и кислорода, обычно используемые в качестве антисептика и отбеливателя. Это комплексное соединение, состоящее из двух компонентов: перекиси водорода (H_2O_2) и мочевины ($(NH_2)_2CO$). Его химическая формула: $(NH_2)_2CO \cdot H_2O_2$ (рис. 1) [1].

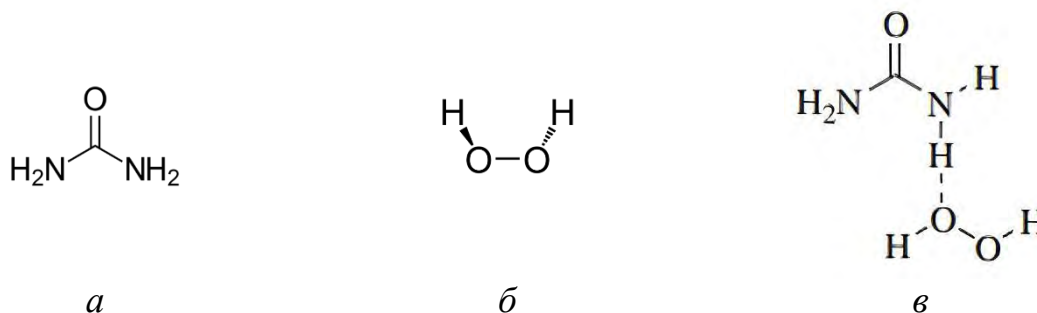


Рис. 1. Структурная формула: *a* – мочевины; *б* – пероксид водорода;
в – гидроперит

Гидроперит – это клатрат пероксида водорода с карбамидом (мочевинной). Клатраты (от лат. *clathratus* – «закрытый решеткой») представляют собой специфичные соединения, формирующиеся за счет помещения молекул одного вещества («гостя») внутрь пустот кристаллической решетки, сформированной другим типом молекул («хозяином»), либо внутрь крупной молекулы-«хозяина». Решетчатые клатраты характеризуются включением «гостевых» молекул в структуру решетки «хозяина», тогда как молекулярные клатраты формируются посредством попадания «гостевых» частиц непосредственно внутрь полости единственной крупной молекулы (рис. 2) [2].

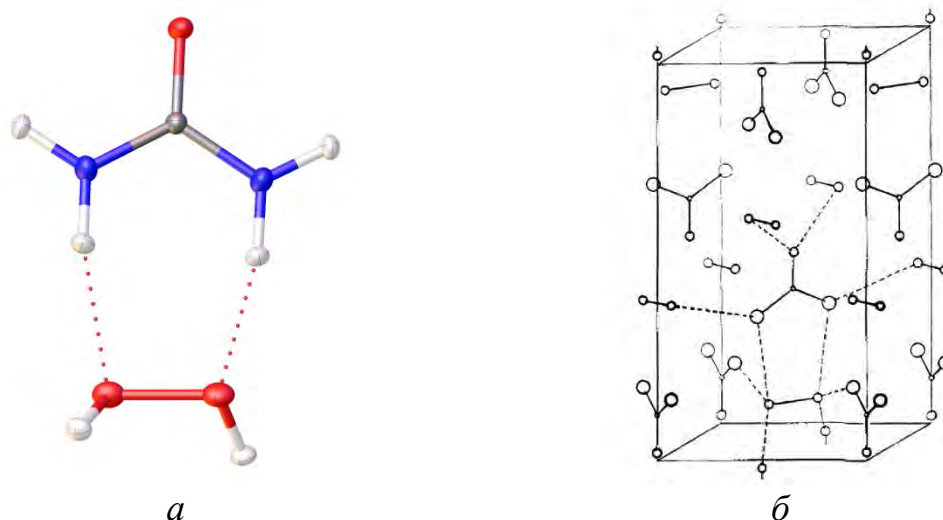


Рис. 2. Предполагаемая схема структуры гидроперита:
 а – структура клатрата (URL: www.en.wikipedia.org); б – перспективный вид элементарной ячейки кристалла [2]

Гидроперит хорошо растворяется в воде. В растворе протекают вторичные реакции: разложение перекиси на каталитических примесях ($\text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$) и гидролиз мочевины ($(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$).

В лабораторных условиях он используется как более простая в обращении замена перекиси водорода. Он зарекомендовал себя как стабильный, простой в обращении и эффективный окислитель, которым легко управлять при соответствующем выборе условий реакции. Он обеспечивает получение продуктов окисления экологически чистым способом и часто с высоким выходом, особенно в присутствии органических катализаторов, таких как цис-бутендиевый ангидрид, или неорганических, таких как вольфрамат натрия.

УНС избирательно превращает тиолы в дисульфиды, вторичные спирты в кетоны, сульфиды в сульфоксиды и сульфоны, нитрилы в амиды, а N-гетероциклы в оксиды аминов. Он также применяется для синтеза оксидов аминов, таких как пиридин-N-оксид [1].

Основные химические процессы, происходящие при применении гидроперита, представлены на рис. 3.

Добавление сухого УНС к фенил альдегиду или кетону без растворителя также ускоряет окисление по Дакину. Гидроксibenзальдегиды превращаются в дигидроксibenзолы (реакция Дакина) [1] и при подходящих условиях дают соответствующие бензойные кислоты.

Окисление Дакина (или реакция Дакина) – это органическая окислительно-восстановительная реакция, в ходе которой орто- или пара-гидроксibenзол или кетон реагирует с перекисью водорода (H_2O_2) в щелочной среде с образованием бензодиаля и карбоксилата. В целом, карбонильная группа окисляется, а H_2O_2 восстанавливается.

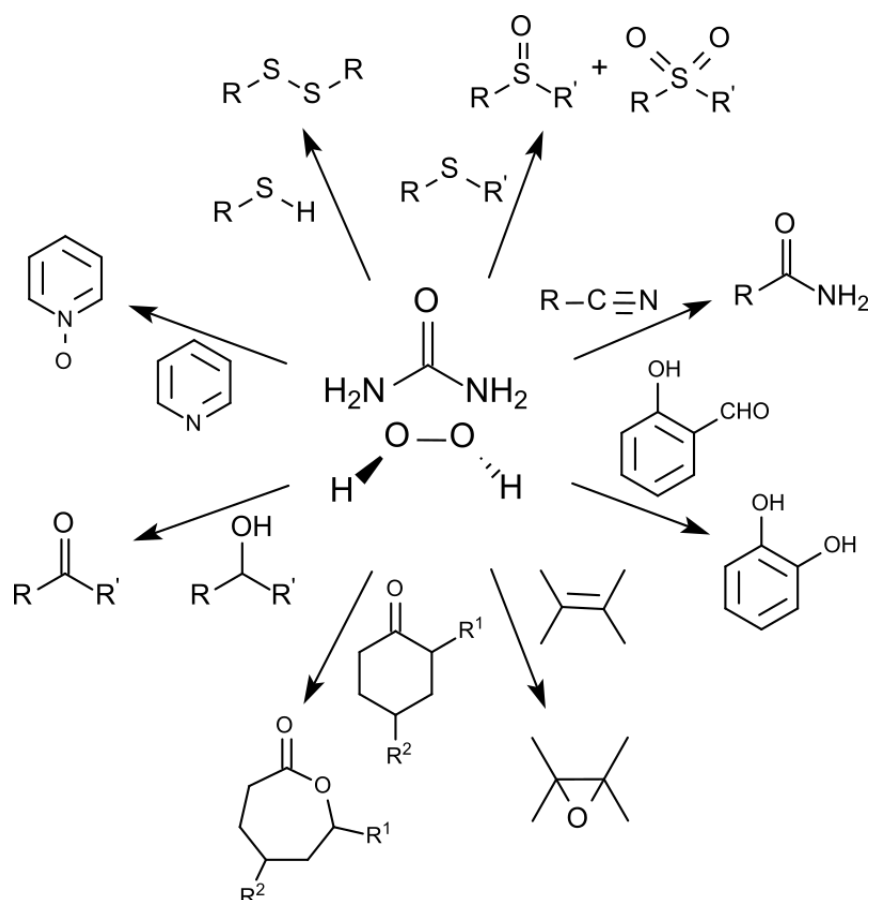


Рис. 3. Химические соединения, связанные с гидроперитом

Процесс может происходить и в слабokислых условиях по механизму, аналогичному механизму, катализируемому основанием [3].

Ранее проведенные исследования по изучению кинетики получения композиционных материалов без связующих веществ (КМ-БС) на основе растительного сырья показали, что процессы трансформации лигнина протекают значительно быстрее в присутствии химических модификаторов (уротропин, карбамид, пероксид водорода и др.) и в кислой среде.

В исследовании [4] с целью получения КМ-БС использовали гидроперит. На основании литературных данных был теоретически исследован ме-

ханизм воздействия УНС на растительное сырье при пьезотермической обработке. Исследование показало, что модификация гидроперитом может вызывать изменения в структуре лигнина растительного сырья за счет:

- образования новых функциональных групп;
- изменения степени полимеризации;
- повышения реакционной способности растительного лигнина.

Растительные лигнины классифицируют по структуре мономеров, являющихся производными гидроксикоричных спиртов (*n*-кумаровый, конифериловый, синапиловый), различающихся степенью метоксилирования. Этой степенью метоксилирования и общим содержанием типа лигнина в растительном сырье будут обусловлены и его химические свойства, а также условия его химической модификации.

В работе [5] для трех модельных соединений лигнина механизм реакции Дакина был изучен с помощью теории функционала плотности (DFT). Была проведена оценка влияния заместителей на энергетический барьер реакции Дакина в модельных соединениях лигнина. Расчетные результаты показали, что реакция перегруппировки хиноновой структуры в первую очередь включает в себя образование и раскрытие кольца эпоксидной группой, образование кольца на О и С бензольного кольца и раскрытие кольца на С и С бензольного кольца. Энергетические барьеры реакции Дакина снижаются с увеличением количества метоксигрупп в модельных соединениях лигнина [5].

Это позволяет предположить, что использование лигнинсодержащего сырья с высоким содержанием метоксигрупп может способствовать увеличению скорости и глубины протекания реакций окисления в присутствии УНС.

Анализ полученных данных показал, что обработка УНС значительно повышает реакционную способность лигнина, делая его более пригодным для дальнейшего химического преобразования и разработки новых методов химико-технологической трансформации растительного сырья.

Список источников

1. Hydrogen Peroxide-Urea / H. Heaney, F. Cardona, A. Goti, A. L. Frederick // Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis. 2013. P. 1–11. DOI: 10.1002/047084289X.rh047.pub3
2. Lu C.-S., Hughes E. W., Giguère P. A. The Crystal Structure of the Urea – Hydrogen Peroxide Addition Compound $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ // Journal of the American Chemical Society. 1941. № 63 (6). P. 1507–1513. DOI: 10.1021/ja01851a007
3. Varma R. S., Naicker K. P. The Urea – Hydrogen Peroxide Complex: Solid-State Oxidative Protocols for Hydroxylated Aldehydes and Ketones (Dakin Reaction), Nitriles, Sulfides, and Nitrogen Heterocycles // Organic Letters. 1999. № 1 (2). P. 189. DOI: 10.1021/ol990522n

4. Ершова А. С., Артёмов А. В., Бурындин В. Г. Новый химический модификатор для получения композиционного материала без применения связующих веществ // Древесные плиты и фанера: теория и практика : XXVIII Всероссийская научно-практическая конференция, Санкт-Петербург, 12–13 марта 2025 года. СПб. : СПбГЛТУ им. С. М. Кирова, 2025. С. 80–84.

5. Theoretical study on the reaction mechanism of Dakin oxidation: influence of methoxy groups / S. Dong, Z. Zhang, H. Zhang [et al.] // Wood Science and Technology. 2024. No. 58. P. 1141–1152. DOI: 10.1007/s00226-024-01555-0.