

О.Д. АРЕФЬЕВА, Е.С. СЕДИНКИНА,
Л.А. ЗЕМНУХОВА, К.В. СМЦККИХ

Эколого-экономическая оценка комплексной схемы переработки рисовой шелухи

На сегодняшний день переработка отходов рисового производства стала важной технической и экологической проблемой. Но информации по эколого-экономической оценке предлагаемых проектов в научно-технической литературе немного. Цель данной работы заключалась в эколого-экономическом анализе комплексной схемы переработки рисовой шелухи с получением аморфного диоксида кремния, волокнистого остатка и щелочного лигнина. Объектом исследования была шелуха риса сорта Долинный, отобранная в пос. Тимирязевка Приморского края. В данной работе предложена технологическая схема переработки рисовой шелухи, ориентированная на получение двух основных целевых продуктов: аморфного диоксида кремния и целлюлозного волокнистого остатка, включая возможность выделения щелочного лигнина. Уровень рентабельности предложенной технологии составил 30 %. Динамические показатели (индекс доходности – 1,4, чистый дисконтированный доход – 4324,42 тыс. руб.) свидетельствуют об эффективности проекта. Расчет экологического ущерба показал, что процесс выделения диоксида кремния и щелочного лигнина из гидролизата позволяет в значительной степени улучшить показатели качества, при этом экономическая выгода равна 281,43 тыс. руб.

Ключевые слова: рисовая шелуха, переработка, комплексная схема, экономическое обоснование, экологическая оценка.

Ecological and economic assessment of the integrated rice husk processing scheme. O.D. AREFIEVA^{1,2}, E.S. SEDINKINA^{1,3}, L.A. ZEMNUKOVA², K.V. SMITSKIY³ (¹Far Eastern Federal University, Vladivostok; ²Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok; ³Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok).

To date, the processing of rice production waste has become an important technical and environmental problem. However, there is not much information on the environmental and economic assessment of the proposed projects in the scientific and technical literature. The purpose of this work was an ecological and economic analysis of the integrated scheme for processing rice husks to produce amorphous silicon dioxide, fibrous residue and alkaline lignin. The object of the study was the rice husk of the Dolinny variety, selected in Timiryazevka village, Primorye Territory. In this paper, a technological scheme for processing rice husks was proposed, focused on obtaining two base products: amorphous silicon dioxide and cellulose fiber residue, including the possibility of isolation of alkaline lignin. The level of profitability of the proposed technology was 30 %. Dynamic indicators (profitability index – 1.4, net present value – 4324.42 thousand rubles) indicate the effectiveness of the project. The calculation of environmental damage showed that the process of isolation of silicon dioxide and alkaline lignin from hydrolysate allows significantly improving its quality indicators, while the economic benefit is equal to 281.43 thousand rubles.

Key words: rice husk, processing, the integrated scheme, economic assessment, ecological assessment.

*АРЕФЬЕВА Ольга Дмитриевна – кандидат педагогических наук, доцент (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток; Институт химии ДВО РАН, Владивосток), СЕДИНКИНА Евгения Сергеевна – магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток; Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток), ЗЕМНУХОВА Людмила Алексеевна – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник (Институт химии ДВО РАН, Владивосток), СМЦККИХ Ксения Викторовна – кандидат экономических наук, доцент (Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток). *E-mail: arefeva.od@dvfu.ru

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Института химии ДВО РАН, тема № 0265-2020-0002.

Введение

Проблемы эколого-экономической оценки состояния окружающей среды промышленных предприятий и территорий занимают все более значительное место в комплексе задач охраны окружающей среды и экономики природопользования [1]. Но единая методика проведения эколого-экономической оценки инновационных проектов в России отсутствует. Для экономического обоснования, в основном, применяются следующие параметры: 1) общие инвестиционные издержки; 2) текущие затраты; 3) показатели коммерческой эффективности; 4) показатели бюджетной эффективности. Главной проблемой при расчетах является приведение разновременных инвестиционных затрат и будущих поступлений в сопоставимый вид, т.е. к начальному периоду. Для этого предложен ряд показателей эффективности проекта [2, 10]: чистый дисконтированный доход, индекс доходности и срок окупаемости инвестиций.

По российскому законодательству на предприятиях не обязательно проводить стоимостную оценку нанесенного вреда окружающей среде. Контроль по воздействию осуществляется только при помощи платы за негативное воздействие. Но помимо платежей для экологической оценки деятельности предприятия можно использовать расчет ущерба [3]. В Российской Федерации разработано две методики определения экологического ущерба: предотвращенный ущерб для получения укрупненной эколого-экономической оценки в результате реализации экологических программ и других мероприятий¹ [8]; исчисление размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства².

Рис – лидер на российском рынке, на него приходится около 40 % от потребления круп. В России в 2019 г. собрано 1154 тыс. т риса [7]. На различных стадиях его переработки образуется огромное количество твердых отходов (шелуха, солома, мучка), из которых 20 % – рисовая шелуха (лузга, плодовые оболочки). Традиционно рисовая шелуха (РШ) хранится на свалках или сжигается на участках производства риса. Но и РШ может быть сырьем, что дает возможность сделать процесс циклическим с нулевым образованием отходов и производить новые продукты с высокой добавленной стоимостью – целлюлозные, кремний- и углеродсодержащие материалы, а также ряд органических соединений [9, 12]. Предлагаются и комплексные схемы с получением нескольких продуктов – диоксида кремния, щелочного лигнина и твердого остатка, содержащего целлюлозу [5, 6].

Эколого-экономическая оценка переработки отходов риса в литературе освещена недостаточно. В исследовании [6] рассчитан предотвращенный экологический ущерб от замены технологии сжигания отходов рисового производства на технологию получения трех продуктов – диоксида кремния, щелочного лигнина и наноцеллюлозы из 200 000 т рисовой шелухи, который составил 1 704 770 руб./год. Цель настоящей работы – эколого-экономический анализ комплексной схемы переработки рисовой шелухи с получением аморфного диоксида кремния, волокнистого остатка и щелочного лигнина.

Технологическая схема получения кремнезема, волокнистого остатка и щелочного лигнина из РШ

Объектом исследования была шелуха риса сорта Долинный, выращенного в пос. Тимирязевка Приморского края. Для получения кремнезема, волокнистого остатка

¹ Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды (одобрена Постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР, Президиума АН СССР от 21.10.1983 № 254/284/134). – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94300/ (дата обращения: 18.06.2020).

² Приказ Минприроды России от 13.04.2009 № 87 (ред. от 26.08.2015) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства». – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_88197/ (дата обращения: 18.06.2020).

и щелочного лигнина из РШ натронным способом была предложена принципиальная технологическая схема, которую можно условно разделить на 3 стадии (рис. 1).

Стадия первая: получение волокнистого остатка из рисовой шелухи

РШ (III) подается в реактор щелочной обработки P1 для проведения процесса делигнификации, куда из смесителя C1 подается раствор щелочи в концентрации 40 г/л (I и II). Процесс проводят при температуре 90 °С в течение 60 мин. Объемное соотношение твердой и жидкой фаз составляет 1 : 13. По окончании процесса обескремненная шелуха обезвоживается фильтр-прессом Ф1 и волокнистый остаток (IV) отправляется на склад готовой продукции для хранения с целью последующего получения целлюлозы.

Стадия вторая: выделение диоксида кремния из щелочного гидролизата

Из реактора P1 щелочной гидролизат направляется по трубопроводам в смеситель C2 для выделения из него кремнезема. В смеситель C2 дозатором Д1 подается концентрированная соляная кислота (V) из напорной башни Ц1 с таким расчетом, чтобы добиться значения pH 5–6. Образовавшаяся кремниевая кислота отделяется на вакуум-фильтре Ф2, высушивается и поступает на склад готовой продукции (VI).

Стадия третья: выделение щелочного лигнина из обескремненного раствора

Из смесителя C2 обескремненный раствор направляется по трубопроводам в смеситель C3 для выделения из него щелочного лигнина. В смеситель C3 дозатором Д2 подается концентрированная соляная кислота (V) из напорной башни Ц1 с таким расчетом, чтобы добиться значения pH 2. Образовавшийся щелочной лигнин (VII) отделяется на вакуум-фильтре Ф3. Сточная вода (VIII) – обескремненный раствор – сбрасывается.

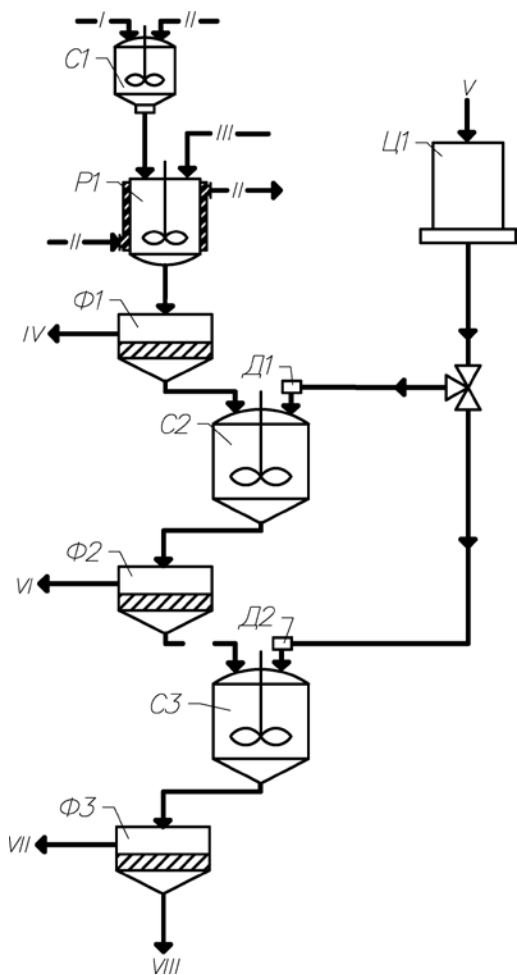


Рис. 1. Технологическая схема получения кремнезема, волокнистого остатка и щелочного лигнина.

I – гидроксид натрия, II – вода, III – рисовая шелуха, IV – волокнистый остаток, V – соляная кислота, VI – кремнезем, VII – щелочной лигнин, VIII – сточная вода, C – смеситель, Д – дозатор, Ц – напорная башня, P – реактор, Ф – фильтр

Экономическое обоснование технологии

Экономическое обоснование комплексной схемы переработки рисовой шелухи с получением аморфного диоксида кремния, волокнистого остатка и щелочного лигнина включало разработку следующих мероприятий:

- плана материально-технического обеспечения, производства и реализации продукции;
- плана по труду и кадрам;

плана по себестоимости, прибыли и рентабельности;
оценки экономической и коммерческой эффективности проекта.

Основные технико-экономические показатели предлагаемой комплексной схемы переработки рисовой шелухи представлены в табл. 1.

Товарной продукцией считаются диоксид кремния и волокнистый остаток. Щелочной лигнин не включен в объем производимой продукции, так как пока не находит практического применения.

Численность персонала принята согласно предлагаемой технологии, установленному оборудованию и режиму работы цеха. Эффективный фонд времени работников рассчитан на основе календарного фонда времени и установленного режима работы предприятия.

Предлагаемый к внедрению инновационный проект предусматривает размещение оборудования в существующем цехе предприятия. В расчетах капитальных вложений учтены затраты на приобретение нового оборудования, монтажные работы и документацию, разрешающую планируемую деятельность, общая стоимость которых составила 9933,40 тыс. руб.

Расчет потребности в материальных ресурсах был определен исходя из удельных норм расхода сырья и используемых реактивов. Для натронной варки РШ использовался раствор NaOH (40 г/л). Для осаждения кремниевой кислоты из раствора, образующегося после извлечения волокнистого остатка, применялась концентрированная соляная кислота (36–38 %). Общая потребность в сырье, материалах и энергоресурсах в ценах по данным на 2020 г. составила 2482,10 тыс. руб. Такие большие материальные затраты связаны прежде всего с высокой стоимостью гидроксида натрия и соляной кислоты.

Расчет годовой суммы амортизационных исчислений осуществлялся линейным методом как произведение балансовой стоимости объекта и нормы амортизации и составил 768,44 тыс. руб. Накладные расходы, связанные с управлением, организацией производства, – 6367,54 тыс. руб.

Таблица 1

**Технико-экономические показатели получения продуктов
по комплексной схеме переработки рисовой шелухи**

Показатель	Единица измерения	Значение
Годовой объем продукции		
общий	т/год	70,10
диоксида кремния	т/год	28,60
волокнистого остатка	т/год	41,50
Фонд заработной платы работающих, в том числе основных производственных рабочих	тыс. руб./год тыс. руб./год	3 703,83 844,11
Численность общего персонала, в том числе основных производственных рабочих	чел. чел.	7 2
Среднемесячная заработная плата одного работающего	руб.	44 093,16
одного основного производственного рабочего	руб.	35 171,22
Себестоимость товарной продукции	тыс. руб.	11 036,88
Прибыль от реализации товарной продукции	тыс. руб.	3 222,62
Рентабельность продукции	%	30
Точка безубыточности	т	54,41
Показатели эффективности проекта:		
норма дисконта	%	15
срок окупаемости капитальных вложений		
простой	лет	3,7
с учетом фактора времени	лет	4,1
чистый дисконтированный доход	тыс. руб.	4 324,42
индекс доходности	–	1,4

Для оценки эффективности проекта были применены следующие показатели [4, 11]: чистый дисконтированный доход, индекс доходности, срок окупаемости инвестиций. По предлагаемой технологической схеме значение чистого дисконтированного дохода при заданной ставке дисконтирования 15 % равно 4324,42 тыс. руб., что показывает прибыльность для предприятия. Индекс доходности проекта – 1,4, что указывает на эффективность проекта, т.е. сумма дисконтированных поступлений превышает величину капитальных вложений. Срок окупаемости инвестиций с учетом нормы дисконтирования наступает на 5-м году реализации проекта.

Для безубыточной работы предприятия необходимо рассчитать такой объем продукции, называемый также критическим объемом, или мертвой точкой, или точкой безубыточности, при котором полученные доходы обеспечивают возмещение всех затрат и расходов. На рис. 2 представлен график безубыточности производства, из которого видно, что при реализации 54,41 т продукции и выручке от ее реализации 11 145,51 тыс. руб. предприятие возмещает все расходы полученными доходами, при этом прибыль равна нулю. Запас финансовой прочности в таком случае составляет 3213,99 тыс. руб.

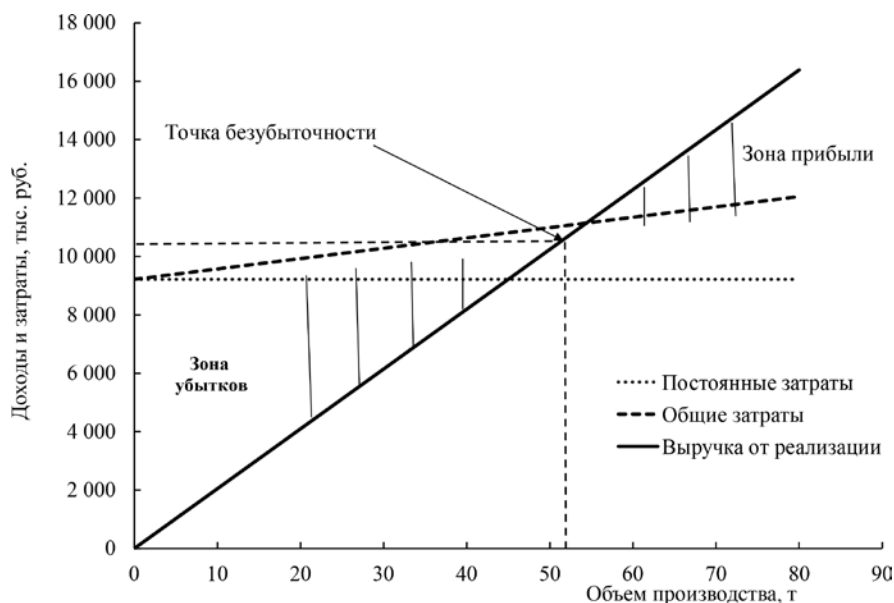


Рис. 2. Зависимость объема производства от затрат по комплексной схеме переработки рисовой шелухи

Экологическая оценка технологии

Экологическая оценка комплексной схемы переработки рисовой шелухи с получением аморфного диоксида кремния, волокнистого остатка и щелочного лигнина проводилась по расчету платы за негативное воздействие на окружающую среду и экологический ущерб. Согласно технологической схеме (рис. 1) при переработке рисовой шелухи остаются сточные воды (обезлигниненный раствор), которые необходимо сбрасывать, выбросы (загрязняющие вещества, поступающие в атмосферный воздух) и производственные отходы отсутствуют.

Показатели качества щелочного гидролизата, обескремненного и обезлигниненного растворов приведены в табл. 2. Поскольку растворы загрязнены и органическими, и взвешенными веществами, экологическая оценка проводилась по биохимическому потреблению кислорода полному (БПК_{полн.}) как интегральному показателю.

Показатели качества щелочного гидролизата, обескремненного и обезлигниненного растворов по комплексной схеме переработки рисовой шелухи

Раствор	pH	Солесодержание, г/л	Цветность, град.	Взвешенные вещества, мг/л	БПК _{полн.} , мг O ₂ /л
Щелочной гидролизат	14	83	76 154	245	34 317
Обескремненный	7	54	21 923	120	5 673
Обезлигниненный	3	64	3 270	3	72

Одной из мер государственного контроля над уровнем загрязнения окружающей среды является плата за негативное воздействие на нее. Согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды»³, предприятия должны вносить плату за свои выбросы в атмосферный воздух, сбросы в водные объекты, а также за размещение отходов производства. При определении платежной базы по предлагаемой нами комплексной схеме переработки РШ учитывалась только масса сбросов загрязняющих веществ. Расчет был проведен с учетом разработки нормативов допустимых сбросов. Размер платы вычислялся в соответствии с Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду»⁴, ставки платы приняты по постановлению Правительства Российской Федерации от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах»⁵. Плата была рассчитана для щелочного гидролизата исходя из допущения, что диоксид кремния не извлекался бы, а гидролизат сливался бы как сточная вода; для обескремненного раствора – если сбрасывать его без осаждения щелочного лигнина. Согласно технологической схеме, из щелочного гидролизата предполагается извлекать кремнезем и щелочной лигнин, поэтому плата (табл. 3) была также определена после удаления данных продуктов, т.е. для обезлигниненного раствора, который является сточной водой (поток VIII, см. рис. 1).

Расчет платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты показал, что при выделении твердых продуктов из щелочного гидролизата значительно снижается итоговая сумма. На основании полученных данных можно отметить определенную экономическую выгоду получения щелочного лигнина из обескремненных сточных вод – уменьшение платы в 50 раз.

Величина ущерба водным объектам рассчитывалась в соответствии с приказом Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства»⁶. Нормативы качества были взяты для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения согласно СанПиН 2.1.5.980-00⁷. В табл. 4 оценен размер вреда, причиненного водным объектам, при производстве 1 т кремнезема.

Методикой, утвержденной приказом Минприроды России № 87, учитывается причинение вреда водным объектам исключительно в результате загрязнения в результате сброса сточных вод, не подвергшихся очистке, или в случае нарушения установленных

³ Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ // Рос. газета. 2002. № 6.

⁴ Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 № 255 «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду». – <http://docs.cntd.ru/document/420393404> (дата обращения: 25.09.2020).

⁵ Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах». – <http://docs.cntd.ru/document/420375216> (дата обращения: 25.09.2020).

⁶ Приказ Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87...

⁷ СанПиН 2.1.5.980-00. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод / НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН [и др.]. М.: Федеральный центр госэпиднадзора Минздрава России, 2000. 24 с.

Таблица 3

**Размер платы за негативное воздействие на окружающую среду
(сбросы загрязняющих веществ в водные объекты
по комплексной схеме переработки рисовой шелухи)**

Показатели	$M_{нд}$, т/год	$H_{шт}$, руб./т	$K_{от}$	$K_{вв}$	$K_{нд}$	$P_{нд}$, руб./год
Щелочной гидролизат						
БПК _{полн.}	35,79	262,44	1	1	1	9392,73
Взвешенные вещества	0,179	1055,40	1	0,07	1	12,72
Сухой остаток	60,53	0,54	1	1	1	32,69
ИТОГО						9438,14
Обескремненный раствор						
БПК _{полн.}	3,33	262,44	1	1	1	873,93
Взвешенные вещества	0,049	1055,40	1	0,07	1	3,48
Сухой остаток	22,16	0,54	1	1	1	11,97
ИТОГО						889,37
Обезлигниненный раствор						
БПК _{полн.}	0,03	262,44	1	1	1	7,87
Взвешенные вещества	0,0009	1055,4	1	0,07	1	0,06
Сухой остаток	18,49	0,54	1	1	1	9,98
ИТОГО						17,92

Примечание. $M_{нд}$ – платежная база за выброс или сброс i -го загрязняющего вещества, $H_{шт}$ – ставка платы за выброс или сброс i -го загрязняющего вещества в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 13.09.2016 № 913, $K_{от}$ – дополнительный коэффициент к ставкам платы в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной, $K_{нд}$ – коэффициент к ставкам платы за сброс i -го загрязняющего вещества в пределах нормативов допустимых сбросов, $K_{вв}$ – коэффициент для взвешенных веществ, $P_{нд}$ – плата в пределах нормативов допустимых сбросов. Величины приняты по постановлению Правительства Российской Федерации от 03.03.2017 № 255.

Таблица 4

**Размер ущерба водным объектам при сбросе сточных вод от производства 1 т кремнезема
из рисовой шелухи по комплексной схеме переработки**

Показатели	Класс опасности	$K_{вр}$	$K_{в}$	$K_{ин}$	H_i , тыс. руб./т	M_i , т	$K_{ин}$	$У$, тыс. руб.
Щелочной гидролизат								
БПК _{полн.}	4	1,16	1,32	2,578	170	0,88	5	2952,68
Взвешенные вещества	4	1,16	1,32	2,578	30	0,006	5	3,55
Сухой остаток	4	1,16	1,32	2,578	5	2,120	5	209,21
ИТОГО								3165,44
Обескремненный раствор								
БПК _{полн.}	4	1,16	1,32	2,578	170	0,08	5	268,43
Взвешенные вещества	4	1,16	1,32	2,578	30	0,002	5	1,18
Сухой остаток	4	1,16	1,32	2,578	5	0,770	5	75,99
ИТОГО								345,60
Обезлигниненный раствор								
БПК _{полн.}	3	1,16	1,32	2,578	170	0,00	5	0,00
Взвешенные вещества		1,16	1,32	2,578	30	0,00003	5	0,02
Сухой остаток		1,16	1,32	2,578	5	0,65	5	64,15
ИТОГО								64,17

Примечание. $K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, $K_{в}$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), $K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития, H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го вещества в водные объекты, M_i – масса сброшенного i -го вредного вещества, $K_{ин}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект, $У$ – размер вреда. Величины приняты по приказу Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87.

нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Расчеты (табл. 4) показывают, что при сбросе щелочного гидролизата, обезлигниненного и обескремненного растворов, если отсутствуют или нарушаются нормативы сброса, экологический ущерб водным ресурсам после выделения кремнезема из сточных вод значительно снижается – до 345,60 тыс. руб., а после осаждения щелочного лигнина – до 64,17 тыс. руб. Таким образом, экономическая выгода получения щелочного лигнина составляет 281,43 тыс. руб.

Заключение

В результате нашей работы проведена эколого-экономическая оценка комплексной схемы переработки рисовой шелухи с целью получения двух основных продуктов – аморфного диоксида кремния и целлюлозного волокнистого остатка.

Уровень рентабельности технологии натронного способа получения осажденного аморфного кремнезема и волокнистого остатка из рисовой шелухи составляет 30 %. Таких показателей рентабельности можно достичь при условии совместного производства обоих компонентов. Получение диоксида кремния отдельно по предложенной технологии является менее рентабельным (19 %), а только волокнистого остатка – нерентабельным (-89 %). Рассчитанные динамические показатели указывают на экономическую эффективность предлагаемой комплексной схемы и достаточно быструю окупаемость. Получаемая прибыль порядка 2,6 млн руб. позволит окупить капитальные вложения в проект в течение 4 лет.

Результаты проведенных расчетов платы за сброс загрязняющих веществ и ущерб водным ресурсам позволяют сделать вывод об экономической выгоде извлечения кремнезема и щелочного лигнина из сточных вод. Так как щелочной лигнин не находит пока практического использования из-за слабой изученности физико-химических и биологических свойств, целесообразность его извлечения на данном этапе можно обосновывать экологической составляющей предлагаемого проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов В.И., Котлярова Е.В. Математическое описание экологического, экономического и социального критериев комплексной оценки состояния промышленных территорий // *Terra economicus*. 2011. Т. 9, № 4–3. С. 121–123.
2. Броневиц Ю.С. Оценка экономической эффективности инвестиций // *Вестн. Камчат. гос. техн. ун-та*. 2010. № 14. С. 35–42.
3. Костылева Н.В., Микишева В.И., Сорокина Т.В. Экологический ущерб: вопросы, вопросы... // *Геогр. вестн.* 2010. № 1 (12). С. 46–54.
4. Крылов Э.И., Власова В.М., Журавкова И.В. Анализ эффективности инвестиционной и инновационной деятельности предприятия: учеб. пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. 608 с.
5. Нгия Н.Х., Зенитова Л.А., Зиен Л.К. Комплексная переработка отходов рисового производства с одновременным получением диоксида кремния, лигнина и целлюлозы // *Пробл. регион. экологии*. 2019. № 2. С. 5–11.
6. Нгия Н.Х. Комплексная переработка отходов рисового производства с получением материалов для очистки газовых и жидких сред: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2020. 123 с.
7. Обзор российского рынка круп по состоянию на 13.12.2019 г. / ГБУ КК «Кубанский сельскохозяйственный ИКЦ». – http://www.kaicc.ru/sites/default/files/krupy_rf_13.12.2019.pdf (дата обращения: 18.06.2020).
8. Рукавишников И.В., Березюк М.В., Макарова Д.Н. К вопросу о необходимости формирования нового подхода к оценке экологического ущерба // *Экология и пром-сть России*. 2013. № 4. С. 62–64.
9. Сергиенко В.И., Земнухова Л.А., Егоров А.Г., Шкорина Е.Д., Василюк Н.С. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи // *Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2004. Т. 48, № 3. С. 116–124.
10. Сибирская Е.В. Проблемы формирования и оценки эффективности региональных промышленно-производственных комплексов // *Пробл. соврем. экономики*. 2004. № 1/2 (9/10). С. 142–146.
11. Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности (теория ожидаемого эффекта) / науч. ред. В.З. Беленький. М.: Наука, 2002. 182 с.
12. Govindarao V.M.N. Utilization of rice husk – a preliminary analysis // *J. Sci. Ind. Res.* 1980. Vol. 39, N 9. P. 495–515.