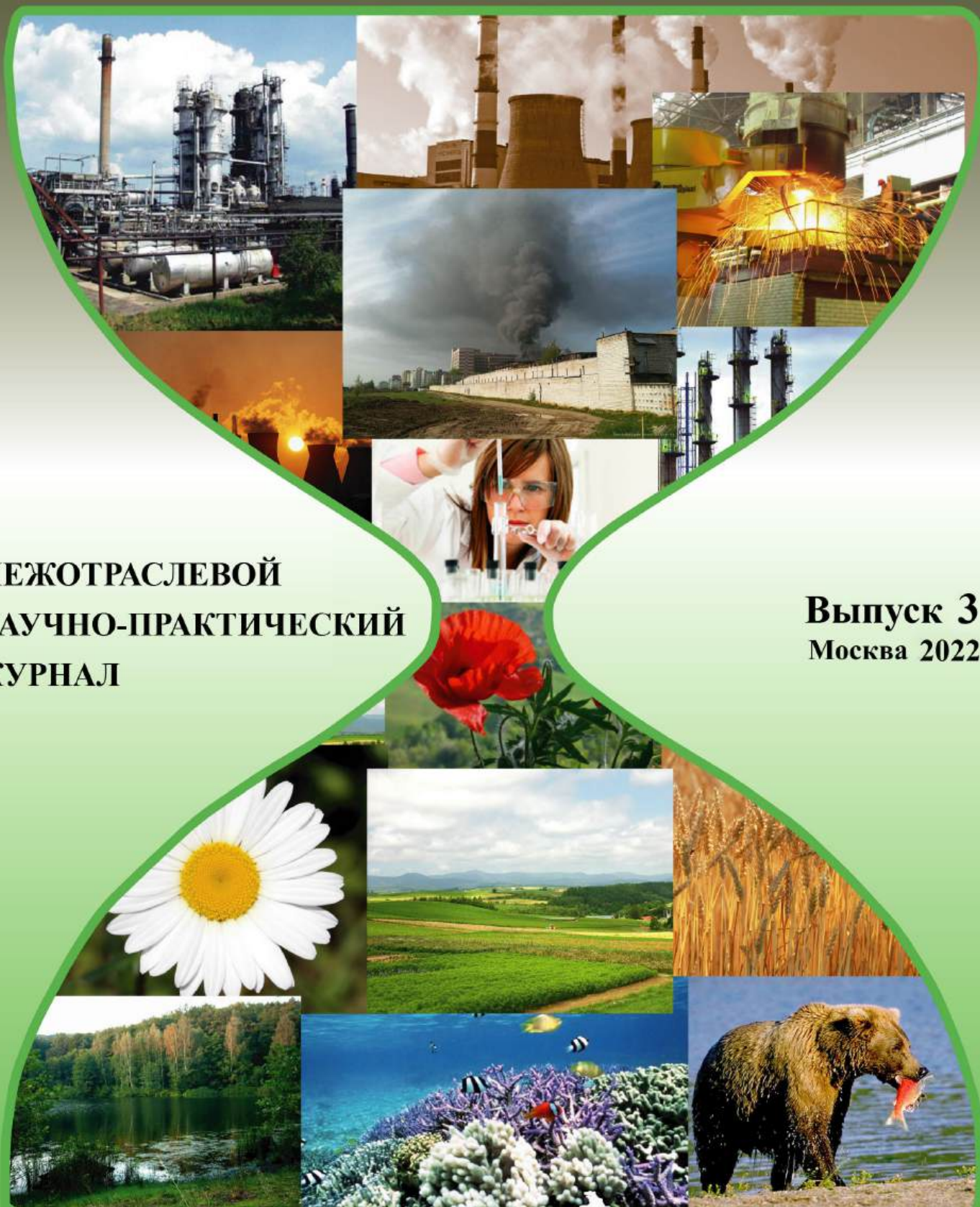


# ЭКОЛОГИЯ

## промышленного производства



**МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**Выпуск 3  
Москва 2022**



## Все новейшие достижения и современные разработки предприятий оборонного комплекса — в научно-технических журналах ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» является издателем следующих научных журналов:



Межотраслевой научно-технический журнал  
**Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **79379**  
Издается с 1984 года



Межотраслевой научно-технический журнал  
**Конструкции из композиционных материалов**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **80089**  
Издается с 1981 года



Научно-технический журнал  
**Информационные технологии в проектировании и производстве**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **79378**  
Издается с 1976 года



Межотраслевой научно-практический журнал  
**Экология промышленного производства**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **80090**  
Издается с 1993 года



Научно-практический журнал  
**Вопросы защиты информации**  
(4 выпуска)  
Подписной индекс **79187**  
Издается с 1974 года

Все издания ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас»:

✓ включены решением ВАК Министерства науки и высшего образования России в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук;

✓ метаданные выпусков включены в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Более подробную информацию об изданиях, подписке, дополнительных услугах можно получить по тел.: 8 (495) 491-43-17, 8 (495) 491-77-67, 8 (495) 491-77-20 (подписка);  
факс: 8 (495) 491-44-80.  
E-mail: [izdanie@ntckompas.ru](mailto:izdanie@ntckompas.ru)



# ЭКОЛОГИЯ

## промышленного

## производства

МЕЖОТРАСЛЕВОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

Выпуск 3 (119)

Издается с 1993 г.

Москва 2022

### СОДЕРЖАНИЕ

#### ВОДОПОДГОТОВКА И ВОДООЧИСТКА

Черткин А. Г., Булычев С. Н., Васькова Е. А. Интегральная оценка экологического благополучия природно-техногенной системы водохранилища с использованием композитных индексов..... 2

Ксенофонтов Б. С., Русанова К. Р. Возможности использования электрофлотокомбайнов для очистки сточных вод ..... 13

Ерхов А. А., Королёва Е. А. Комплексное экологическое обследование и рекультивация водотоков и водоёмов на примере московского региона ..... 18

#### ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Катин В. Д. Результаты исследований влияния сжигания газа и мазута в нефтезаводских печах на загрязнение атмосферы и разработка новых технических решений по снижению вредных выбросов ..... 23

#### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ЛИКВИДАЦИЯ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Смирнова Т. С., Сазонова И. А., Лужков В. А. Оценка эффективности опытного образца биопрепарата для ремедиации нефтезагрязненной почвы ..... 28

#### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Тетельмин В. В. Аналитический расчет глобального потепления ... 34

Варнавский А. Н. Анализ предпочтений жителей умного города в мобильных средствах информирования о загрязнении городского воздуха ..... 42

Вицентий А. В., Яковлев С. Ю., Шемякин А. С. Информационная поддержка обеспечения техносферной безопасности арктических регионов с использованием данных дистанционного зондирования Земли..... 49

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Колесников М. С., Ильина Т. Н., Феоктистов А. Ю. Об эффективности применения биодеструкторов запахов на свиноводческих комплексах ..... 58

#### Главный редактор

М. В. Слипенчук, д-р эконом. наук, проф., зав. кафедрой рационального природопользования географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова

#### Заместители главного редактора:

В. Ф. Гракович, д-р техн. наук, проф., Национальный фонд содействия устойчивому развитию регионов; А. Г. Ишков, д-р хим. наук, проф., ПАО «Газпром»; Н. П. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ИжГТУ им. М. Т. Калашникова

Ответственный секретарь К. В. Трыкина, начальник отдела научных и информационных изданий ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»

#### Редакционный совет:

М. Ч. Залиханов, акад. РАН, проф., РАН; И. Н. Мешков, акад. РАН, проф., Объединенный институт ядерных исследований; Н. П. Тарасова, чл.-кор. РАН, д-р хим. наук, проф., Институт проблем устойчивого развития РХТУ им. Д. И. Менделеева

#### Редакционная коллегия:

А. М. Амирханов, канд. биол. наук, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; С. С. Бабкина, д-р хим. наук, проф., Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова РТУ МИРЭА; Я. И. Вайсман, д-р мед. наук, проф., Пермский национальный исследовательский политехнический университет; В. А. Девислов, д-р тех. наук, МГТУ им. Н. Э. Баумана; О. Д. Доронина, д-р биол. наук, проф., Академия труда и социальных отношений; Е. Ю. Дорохина, д-р эконом. наук, проф. РЭУ им. Г. В. Плеханова; М. Н. Дадашев, д-р техн. наук, проф., РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина; В. Г. Исаков, д-р техн. наук, проф., ИжГТУ им. М. Т. Калашникова; М. А. Корепанов, д-р техн. наук, ИжГТУ им. М. Т. Калашникова; Б. С. Ксенофонтов, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н. Э. Баумана; В. Н. Ложкин, д-р тех. наук, проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; В. Ю. Мелешко, д-р техн. наук, проф., Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН; В. Ф. Меньщиков, канд. техн. наук, Госкорпорация «Росатом»; Н. Г. Рыбальский, д-р биол. наук, проф., НИА «Природные ресурсы»; И. Ш. Сайфуллин, д-р хим. наук, проф., НИИ инновационного развития промышленности РЭУ им. Г. В. Плеханова; А. А. Соловьянов, д-р хим. наук, проф., Центр научных исследований и разработок ФГБУ «ВНИИ «Экология»; В. А. Тененев, д-р физ.-мат. наук, проф., ИГТУ им. М. Т. Калашникова; В. В. Тетельмин, д-р техн. наук, проф., Общественный совет при Минэнерго РФ; Ю. В. Трофименко, д-р техн. наук, проф., НИИ энергетических проблем автотранспортного комплекса при МАДИ; Б. С. Федоров, д-р техн. наук, проф., ООО «Концерн ЭКОМАШ»; С. Г. Харченко, д-р физ.-мат. наук, проф., РУДН; С. С. Чеботарев, д-р эконом. наук, проф., АО «ЦНИИ экономики, информатики и систем управления

© Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас» (ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»), 2022



# Водоподготовка и водоочистка

УДК 502.5

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_2

EDN: QLYAND

## Интегральная оценка экологического благополучия природно-техногенной системы водохранилища с использованием композитных индексов

**А. Г. ЧВЕРТКИН**, канд. техн. наук; **С. Н. БУЛЫЧЕВ**, канд. техн. наук  
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
Москва, Россия

**Е. А. ВАСЬКОВА**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

*Статья посвящена разработке и применению композитного индекса экологического благополучия (КИЭБ) природно-техногенной системы (ПТС). Проведена оценка экологического благополучия ПТС водохранилища за счет применения разработанного композитного индекса экологического благополучия. При оценке использовано 79 критериев, разбитых в 3 блока — экологические, экономические и социальные факторы. Для апробации оценки воспользовались объектом — Веселовское водохранилище, применив 5 разных моделей задания весов в последнем уровне свертки трех главных блоков. Оценка экологического благополучия системы выполнена для 5 классов (от I — высокое; до V — низкое). В качестве гипотезы принято, что, применяя метод сводных показателей, метод рандомизированных сводных показателей, а также методологии анализа и синтеза показателей в условиях информационного дефицита, возможно оценить экологическое благополучие природно-техногенной системы. Основные методы научного исследования: анализ, моделирование, дедукция. Определено, что Веселовское водохранилище относится к III классу экологического благополучия — средняя степень экологического благополучия и выявлены основные критерии, требующие разработки мероприятий для перехода ПТС во II класс экологического благополучия.*

**Ключевые слова:** природно-техногенная система, экологическое благополучие, Веселовское водохранилище, композитный индекс, метод сводных показателей, экологическое благополучие водохранилища.

Необходимость обеспечения экологического благополучия населения и страны утверждено на законо-

дательном уровне. Согласно Федеральному Конституционному закону от 6 ноября 2020 г. № 4-ФКЗ "О правительстве Российской Федерации" ст. 22 п. 2, Правительство РФ принимает меры по реализации прав граждан на благоприятную окружающую среду, по обеспечению экологического благополучия, по созданию благоприятных условий жизнедеятельности населения, по снижению негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду [1]. Упоминание понятия "экологическое благополучие" производится в нормативных актах [2—5] и Постановлении Конституционного суда Российской Федерации [6]. Необходимо отметить, что исполнение экологической функции государства

---

**Чверткин Алексей Геннадьевич**, доцент.

E-mail: leliosha@yandex.ru

**Булычев Сергей Николаевич**, доцент.

E-mail: bulychovsn@yandex.ru

**Васькова Есения Андреевна**, аспирант географического факультета, главный специалист отдела гидрометрии и гидрологической сети.

E-mail: esenya95@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 июня 2022 г.

---

© Чверткин А. Г., Булычев С. Н., Васькова Е. А., 2022

предполагается вести смежно с экономической [7—10], поэтому достижение благоприятной среды сопряжено в большей степени с финансовой организацией мероприятий по ее восстановлению и сохранению.

Однозначного определения понятия "экологическое благополучие" к настоящему времени нет. В ряде работ представлен обзор подходов к определению данного термина [11, 12], при этом "экологическое благополучие" сопоставляется с "экологическим состоянием", "экологической безопасностью" изучаемого объекта или иными понятиями, к примеру, "индексом человеческого развития", которые могут относиться либо опосредованно к изучаемому понятию, либо являться его составляющими. Однако понятие "экологическое благополучие" шире и может относиться к водному объекту [13—15] и/или к стране, городу, региону [16—20].

Попытки дать определение понятие "экологическое благополучие" приведены в работах [21, 22] и раскрывают термин как гармоничное взаимоотношение человека и окружающей среды; ведущий компонент качества жизни населения. Обеспечение экологического благополучия является необходимым условием сохранения здоровья населения [23].

Определение экологического благополучия водного объекта представлено в ГОСТ 17.1.1.01-77, при выполнении которого обеспечивается нормальное воспроизведение основных звеньев экологической системы водного объекта [24]. При этом условиями сохранения экологического благополучия водного объекта являются мониторинг и нормирование качества воды [25, 26].

Оценка экологического благополучия предполагает оценку по совокупности параметров оценивания и сочетания их иерархий, такая оценка является многокритериальной и многоуровневой одновременно. Предпосылками для оценки являются: 1 — определение позиций для оценки—антропоцентризм/биоцентризм, 2 — определение объекта оценки, 3 — понимание, что основой оценки является благополучие экосистемы, а, следовательно, живых организмов.

Таким образом, в определении термина с позиции биоцентризма ключевую роль играют только живые организмы как основа для существования экосистемы в целом. С позиции антропоцентризма экологиче-

ское благополучие должно основываться на устойчивом развитии техносферы, которое невозможно без благополучия экосистемы, однако, в данном случае весомость критериев благоприятной среды для человека как живого организма увеличивается. В данной проблематике требуется поставить границы и определить, что понятие из ГОСТа относится к биоцентризму. То определение, которое является синтезом термина "экологическое благополучие" по ГОСТу и приведенное выше, представляет собой позицию антропоцентризма. При этом полная "гармония" между деятельностью человека — техносферой и экосистемой, невозможна, но обеспечение устойчивого воспроизводства живых организмов и смягчение негативного воздействия на окружающую среду способно обеспечить экологическое благополучие.

Таким образом, экологическое благополучие природно-техногенной системы с позиции антропоцентризма — это интегральный показатель состояния ПТС, при котором влияние хозяйственной деятельности человека позволяет сохранять нормальное воспроизведение основных звеньев экосистемы, общее благосостояние региона и страны в целом, а также благоприятные условия для жизни, развития и здоровья населения.

### Материалы и методы исследования

Построение композитного индекса экологического благополучия (КИЭБ) природно-техногенной системы (ПТС) производится на основе метода сводных показателей (МСП), метода рандомизированных сводных показателей (МРСП) и методологии анализа и синтеза показателей в условиях информационного дефицита (АСПИД-методология) [27].

В качестве объекта оценки экологического благополучия (ЭБ) ПТС выбрана природно-техногенная система "ПТС Веселовское водохранилище".

На первом этапе производится отбор систем критериев оценки ЭБ. Основанием для отбора являются вариации целевого использования водохранилищ. Общее число критериев в данной работе — 79, которые разбиты на три блока — социальные, экономические и экологические факторы. Каждый из блоков разбивается на подблоки. Общая схема блоков представлена на рис. 1.

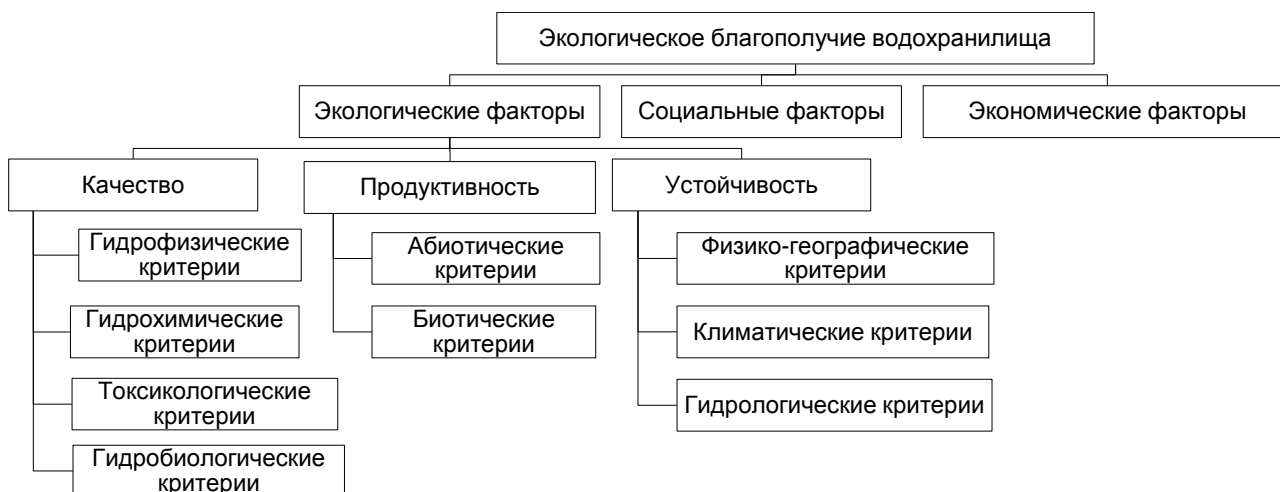


Рис. 1. Общая схема интегральной оценки экологического благополучия для "ПТС Веселовское водохранилище"

На следующих рисунках представлены развернутые схемы для блоков — социальные и экономические факторы, соответственно рис. 2 и 3.

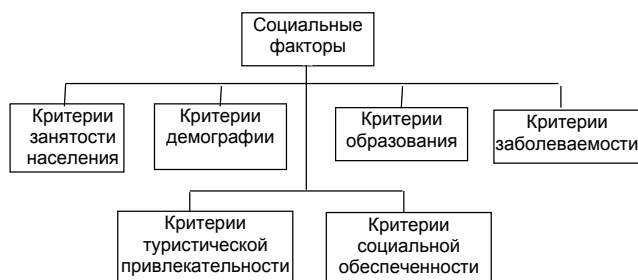


Рис. 2. Схема подблока оценки экологического благополучия ПТС водохранилища: социальные факторы



Рис. 3. Схема подблока оценки экологического благополучия ПТС водохранилища: экономические факторы

Следующий этап состоит в определении минимальных ( $\min$ ) и максимальных ( $\max$ ) значений критериев на основе предварительного анализа региональных и временных изменений для социальных и экономических показателей  $x = (x_1, \dots, x_n)$  с использованием сборников Росстата "Регионы России. Социально-экономические показатели" за период с 2002 по 2021 гг., а также литературных источников для критериев  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , входящих в блок экологических факторов. Одновременно с определением  $\min$  и  $\max$  значений вводится пять классов ЭБ (I класс — высокая степень ЭБ, II класс — нормальная степень ЭБ, III класс — средняя степень ЭБ, IV класс — низкая степень ЭБ, V класс — чрезвычайно низкая степень ЭБ).

После получения векторов исходных показателей  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , формируется вектор  $q = (q_1, \dots, q_m)$  нормированных показателей, представляющих собой функции  $q_i(x)$ ,  $i = 1, \dots, m$ , вектора исходных критериев  $x = x_1, \dots, x_n$  и оценивающих различные аспекты исследуемого объекта с использованием  $m$  различных критериев. При получении нормирующей функции учитывается вид связи — прямая/обратная и линейность/нелинейность связи. В общем виде нормирующая кусочно-степенная функция представлена в формулах (1) и (2):

$$q_i = q_i(x)_i = \begin{cases} 0, & x_i \leq \min_i \\ \left( \frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^\alpha, & \min_i < x_i \leq \max_i \\ 1, & x_i > \max_i \end{cases} \quad (1)$$

Неубывающая кусочно-степенная функция, представленная в формуле (1), используется в случае,

если увеличение значения  $i$ -й исходной характеристики не влечет снижения свойства системы, оцениваемой с позиции  $i$ -го критерия. Таким образом, всем параметрам со значениями, не превышающими некоторого фиксированного уровня  $\min_i$ , автоматически присваивается минимальное значение  $i$ -го нормированного показателя, в то время как параметру со значением  $x_i$ , превышающему некоторый фиксированный уровень  $\max_i$ , — максимальное значение этого показателя.

Если при увеличении значения  $i$ -й исходной характеристики не происходит возрастания свойств системы, используется невозрастающая кусочно-степенная функция вида:

$$q_i = q_i(x)_i = \begin{cases} 1, & x_i \leq \min_i \\ \left( \frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^\alpha, & \min_i < x_i \leq \max_i \\ 0, & x_i > \max_i \end{cases} \quad (2)$$

где  $q_i(x)_i$  — нормируемая функция;

$\alpha$  — показатель степени, определяющий вид и степень нелинейности связи параметра с оцениваемым свойством. Авторами принималось  $\alpha = 1,0$ .

Значение  $q_i$  лежит в диапазоне  $0 \leq q_i \leq 1$ , при этом  $q_i = 0$  свидетельствует о благополучии системы по  $i$ -му критерию, а значение  $q_i = 1$  о чрезвычайно низкой степени экологического благополучия.

Заключительный этап состоит в выборе интерпретирующей функции интегрального показателя  $Q = Q(q, w)$ , сопоставляющей вектору отдельных показателей  $q = (q_1, \dots, q_m)$  сводную оценку  $Q$  (значение сводного показателя  $Q = Q(w)$ , характеризующего исследуемый объект в целом). Необходимым условием получения показателя является зависимость синтезирующей функции  $Q(w)$  от вектора  $w = (w_1, \dots, w_m)$ , представляющего собой весовые коэффициенты/веса положительных параметров  $w_1, \dots, w_m$ , определяющих значимость отдельных показателей  $q_1, \dots, q_m$  для сводной оценки  $Q$ :

$$Q(q, w) = \sum_{i=1}^m q_i w_i, \quad (3)$$

где  $q_1, \dots, q_m$  — вектор отдельных (нормированных) показателей;

$w_1, \dots, w_m$  — вектор "весов" (приоритетов), указывающий сравнительную значимость соответствующих показателей. При определении весов должно соблюдаться следующее условие:

$$w_i > 0, w_1 + \dots + w_m = 1.$$

Перечень отобранных критериев и приведенных к соответствующему виду для каждого блока — экологических, социальных и экономических факторов, представлено соответственно в табл. 1—3.

Блок экологических факторов (ИИЭКО) состоит из трех подблоков — продуктивности, устойчивости и качества, которые в свою очередь включают подблоки следующего уровня. Таким образом, подблок продуктивности (ИИП) состоит из интегральных показателей: абиотических (ИППА) — 6 критериев и биотических (ИППБ) — 4 критерия. Подблок качества (ИИК) включает блоки гидрофизические (ИПГФ) — 3 критерия, гидрохимические (ИПГХ) — 5 критериев, токсикологические (ИПТ) — 4 критерия, гидробиологические (ИПГБ) — 3 критерия. Подблок устойчивости (ИИУ) состоит из интегральных показателей, характеризующих потенциал-

ную устойчивость: устойчивость к изменению физико-географических параметров/параметров естественного режима (ИПФГ) — 2 критерия, устойчивость к изменению климатических параметров (ИПК) — 2 критерия, устойчивость к изменению гидрологических параметров (ИПГ) — 7 критериев. При выборке критериев учитывался принцип, упоминающийся в [28], согласно которому достижение ЭБ водной экосистемой предшествует достижению наиболее продуктивного или наиболее загрязненного состояния, а также тот факт, что благополучные водные экосистемы не являются наиболее устойчивыми к антропогенному эвтрофированию и загрязнению. При этом достижение ими высокой устойчивости к внешнему и внутреннему воздействию обеспечивается физико-географическими параметрами (объем, площадь, глубина).

Таблица 1

Критерии и оценочные шкалы, учитываемые в экологическом блоке

П/н	Показатели	Экологические факторы				
		I	II	III	IV	V
	Качество					
1	Гидрофизические					
1.1	Удельная электрическая проводимость, мкСм/см (для непроточных водоемов)	150—249 0,000—0,090	249—299 0,090—0,136	299—499 0,136—0,318	499—999 0,318—0,773	999—1249 0,773—1,000
1.2	Водородный показатель, pH единиц	8,00—7,00 0,000—0,250	7,00—5,90 0,250—0,525	5,90—5,70 0,525—0,575	5,70—5,60 0,575—0,600	5,60—4,00 0,600—1,000
1.3	Прозрачность, м	5,250—3,050 0,000—0,423	3,000—0,550 0,432—0,904	0,500—0,350 0,913—0,942	0,300—0,150 0,952—0,981	0,100—0,050 0,990—1,000
	ИПГФ	0,000—0,254	0,254—0,522	0,522—0,612	0,612—0,785	0,785—1,000
2	Гидрохимические					
2.1	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	0,000—0,300 0,000—0,0300	0,300—1,200 0,030—0,120	1,200—2,100 0,120—0,210	2,100—7,000 0,210—0,700	7,000—10,000 0,700—1,000
2.2	Азот аммонийный (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), мгN/л	0,000—0,040 0,000—0,008	0,040—0,200 0,010—0,040	0,200—0,500 0,040—0,100	0,500—2,500 0,100—0,500	2,500—5,000 0,500—1,000
2.3	Нитрит-анион (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мгN/л	0,000—0,00000,5 0,000—0,000	0,00005—0,005 0,000—0,017	0,005—0,020 0,017—0,067	0,020—0,100 0,067—0,333	0,100—0,300 0,333—1,000
2.4	Нитрат-анион (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), мгN/л	0,000—0,040 0,000—0,010	0,040—0,300 0,010—0,075	0,310—0,700 0,075—0,175	0,700—2,500 0,175—0,625	2,500—4,000 0,625—1,000
2.5	УКИЗВ (без учета числа КПЗ)	0—1 0,000—0,063	1—2 0,063—0,125	2—4 0,125—0,250	4—11 0,250—0,688	11—16 0,688—1,000
	ИПГХ	0,000—0,016	0,016—0,051	0,51—0,160	0,160—0,569	0,569—1,000
3	Токсикологические					
3.1	Медь, мг/л	0—0,05 0,000—0,001	0,05—0,09 0,001—0,002	1—5 0,020—0,100	6—25 0,120—0,500	26—50 0,520—1,000
3.2	Железо, мг/л	0,000—0,100 0,000—0,005	83,333—163,333 0,005—0,010	166,000—1666,000 0,010—0,100	1670,000— 8333,333 0,1002—0,500	8336,666— 16666,666 0,500—1,000
3.3	Фенолы (летучие), мг/л	0—0,01 0,000—0,0002	0,01—0,05 0,0002—0,001	0,06—0,1 0,0012—0,002	0,900—10,000 0,018—0,200	11,000—50,000 0,220—1,000
3.4	Нефть и нефтепродукты, (суммарно) мг/л	0—0,001 0,000—0,00001	0,001—0,05 0,00001—0,00003	0,100—13,000 0,00006—0,0078	16,000—333,000 0,0096—0,199	336,000—1666,000 0,202—1,000
	ИПТ	0,000—0,002	0,002—0,003	0,003—0,052	0,052—0,350	0,350—1,000
4	Гидробиологические					
4.1	Индекс сапробности по Пантле Букку (в модификации Сладчека)	0,000—0,900 0,000—0,225	0,900—1,500 0,225—0,375	1,500—2,500 0,375—0,625	2,500—3,500 0,625—0,875	3,500—4,000 0,875—1,000
4.2	Биомасса зообентоса, мг/л	0,000—0,625 0,000—0,0156	0,625—2,50 0,0156—0,0625	2,50—10,000 0,0625—0,250	10,000—20,000 0,250—0,500	20,000—40,000 0,500—1,000
4.3	Биомасса фитопланктона, мг/л	0,0—0,09 0,000—0,0009	0,09—1,0 0,0009—0,010	1,0—5,0 0,01—0,050	5,0—50,0 0,050—0,500	50,0—100 0,500—1,000
	ИПГБ	0,000—0,081	0,081—0,149	0,149—0,308	0,308—0,625	0,625—1,000
ИИК		0,000—0,118	0,081—0,172	0,173—0,273	0,273—0,605	0,609—1,000
	Продуктивность					
	Абиотические					
1.1	Объем водохранилища (м3)	Σ(V <sub>нпг</sub> ; V <sub>умо</sub> ) 1—2	Σ(V <sub>нпг</sub> ; V <sub>умо</sub> ) – Σ(0,5V <sub>нпг</sub> ; V <sub>умо</sub> ) 2—3	Σ(0,5V <sub>нпг</sub> ; V <sub>умо</sub> ) – Σ(0,5V <sub>нпг</sub> ; 0,5V <sub>умо</sub> ) 3—4	Σ(0,5V <sub>нпг</sub> ; 0,5V <sub>умо</sub> ) – V <sub>умо</sub> 4—5	V <sub>умо</sub> – 0,5V <sub>умо</sub> 5—6
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000

Окончание табл. 1

П/н	Показатели	Экологические факторы				
		I	II	III	IV	V
1.2	Температура воды, °C	0,7ПДК—0,8ПДК 1—2	0,8ПДК—ПДК 2—3	ПДК—1,1ПДК 3—4	1,1ПДК—1,2ПДК 5—6	1,2ПДК—1,3ПДК 6—7
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000
1.3	Концентрация общего азота, мкг/л	2000—1500	1500—500	500—80	80—5	5—0
		0,000—0,250	0,250—0,750	0,750—0,960	0,960—0,998	0,998—1,000
1.4	Насыщенность кислородом	90—85	85—80	80—70	70—40	40—0
		0,000—0,056	0,056—0,111	0,111—0,222	0,222—0,556	0,556—1,000
1.5	Общий фосфор, мкг/л	120,0—100,0	100,0—20,0	20,0—5,0	5,0—1,0	1,0—0,0
		0,000—0,167	0,167—0,833	0,833—0,958	0,958—0,992	0,992—1,000
1.6	Прозрачность, м	0,3—0,8	0,8—3,0	3,0—6,0	6,0—12,0	12,0—24,0
		0,0000—0,0211	0,211—0,114	0,114—0,241	0,241—0,494	0,494—1,000
	ИППА	0,000—0,149	0,149—0,435	0,435—0,597	0,597—0,773	0,773—1,000
Биотические						
2.1	Хлорофилл а, мкг/л	33—25	25—8	8—2,5	2,5—0,3	0,3—0
		0,000—0,242	0,242—0,757	0,757—0,924	0,924—0,990	0,990—1,000
2.2	Трофический индекс Карлсона, TSI, балл	120—80	80—60	60—40	40—20	20—0
		0,000—0,333	0,333—0,500	0,500—0,667	0,667—0,833	0,833—1,000
2.3	Отношение биомассы зоопланктона к биомассе фитопланктона	0,4:1—0,5:1 1—2	0,5:1—1:1 2—3	1:1—4:1 3—4	4:1—5:1 4—5	5:1—6:1 5—6
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000
2.4	Ихтиомасса, г/м <sup>2</sup>	50—40	40—10	10—2,5	2,5—1,25	1,25—0
		0,000—0,200	0,200—0,800	0,800—0,950	0,950—0,975	0,975—1,000
	ИППБ	0,000—0,195	0,195—0,491	0,491—0,628	0,628—0,720	0,720—1,000
	ИИП	0,000—0,172	0,172—0,463	0,463—0,613	0,613—0,747	0,747—1,000
Потенциальная устойчивость						
1	Устойчивость к изменению физико-географических параметров/параметров естественного режима					
1.1	Наличие сезонной стратификации, баллы	Да 1—2	Слаборазвитое 2—3	3—4	4—5	Нет 5—6
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000
1.2	Вертикальное перемешивание, количество раз за год	6—5	5—4	4—3	3—2	2—1
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000
	ИПФГ	0,000—0,100	0,100—0,200	0,200—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000
2	Устойчивость к изменению климатических параметров					
2.1	Средняя температура воды в летний период, °C	25—20	20—18	18—16	16—14	14—12
		0,000—0,385	0,385—0,538	0,538—0,692	0,692—0,846	0,77—1,00
2.2	Продолжительность ледостава, месяцы	6—5	5—4	4—3	3—2	2—1
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,00
	ИПК	0,000—0,293	0,293—0,469	0,469—0,646	0,646—0,823	0,823—1,000
3	Устойчивость к изменению гидрологических параметров					
3.1	Условия проточности водоема, баллы	Бессточный 1—2	Умеренно проточные 2—3	3—4	4—5	Сильно проточные 5—6
		0,000—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,000
3.2	Площадь поверхности водоема, км <sup>2</sup>	4 000—2 000	2 000—1 000	1 000—100	100—10	10—5
		0,000—0,501	0,501—0,751	0,751—0,976	0,976—0,999	0,999—1,00
3.3	Объем водоема, км <sup>3</sup>	20—15	15—10	10—5	5—2,5	2,6—1,1
		0,000—0,265	0,265—0,529	0,529—0,794	0,794—0,926	0,926—1,00
3.4	Максимальная глубина, м	60—50	50—25	20—10	10—5	5—3
		0,000—0,175	0,175—0,614	0,614—0,877	0,877—0,965	0,965—1,00
3.5	Внутригодовая амплитуда колебаний уровня воды в водоеме, м	5—4	10—50	50—100	100—150	150—200
		0,00—0,222	0,222—0,444	0,246—0,497	0,497—0,749	0,749—1,00
3.6	Характер регулирования стока, баллы	Многолетнее 1—2	Годичное 2—3	Сезонное 3—4	Недельное 4—5	Суточное 5—6
		0,00—0,200	0,200—0,400	0,400—0,600	0,600—0,800	0,800—1,00
3.7	Водообмен в год	0,1—1,0	1,0—2,0	2,0—4,0	4,0—6,0	6,0—10,0
		0,000—0,091	0,091—0,192	0,192—0,394	0,394—0,595	0,595—1,000
	ИПГ	0,000—0,179	0,179—0,366	0,366—0,579	0,579—0,796	0,796—1,000
	ИИУ	0,000—0,191	0,191—0,345	0,345—0,608	0,608—0,806	0,806—1,000
	ИИЭКО	0,000—0,160	0,160—0,327	0,327—0,498	0,498—0,719	0,719—1,000

Блок социальных факторов — интегральный индекс социальных факторов (ИИС), который включает интегральные показатели: туристической привлекательности (ИПТП) — 7 критериев, занятости населения (ИПЗН) — 4 критерия, демографии (ИПД) —

4 критерия, образовательной деятельности (ИПО) — 4 критерия, социальной обеспеченности (ИПСО) — 6 критериев, заболеваемости населения (ИПЗ) — 2 критерия. Критерии и оценочные шкалы, учитываемые в социальном блоке приведены в табл. 2.



Таблица 2

## Критерии и оценочные шкалы, учитываемые в социальном блоке

№ п/п	Показатели	Социальные факторы				
		I	II	III	IV	V
1	Туристическая привлекательность					
1.1	Расстояние до населенного пункта, км	0—2 0,000—0,067	2—5 0,067—0,167	5—10 0,167—0,333	10—20 0,333—0,667	20—30 0,667—1,000
1.2	Структура дна водоема, баллы	Скалистое 1—2 0,000—0,200	Гравийное 2—3 0,200—0,400	Гравийно-песчаное 3—4 0,400—0,600	Глинистое 4—5 0,600—0,800	Песчаное 5—6 0,800—1,000
1.3	Характер берега, баллы	Ровный, Песчаный 1—2 0,000—0,200	Ровный, Травяной 2—3 0,200—0,400	Пологий, травяной 3—4 0,400—0,600	Пологий лесной 4—5 0,600—0,800	Крутой, скалистый 5—6 0,800—1,000
1.4	Специализированные места отдыха, баллы	20—15 0,000—0,263	15—10 0,263—0,526	10—5 0,526—0,789	5—4 0,789—0,842	4—1 0,842—1,000
1.5	Доступность рекреационной зоны водохранилища, баллы	Асфальтированная дорога с общественным транспортом в наличии 1—2 0,000—0,200	Не асфальтированная дорога с общественным транспортом в наличии 2—3 0,200—0,400	Асфальтированная дорога 0,400—0,600	Не асфальтированная дорога 4—5 0,600—0,800	Доступ возможен только пешим способом 5—6 0,800—1,000
1.6	Численность отдохнувших детей за лето в субъекте РФ	780,3—624,24 0,000—0,300	624,24—520,2 0,300—0,500	520,2—468,18 0,500—0,600	468,18—416,16 0,600—0,700	416,16—260,1 0,700—1,000
1.7	Детские оздоровительные лагеря	949,5—759,6 0,000—0,300	759,6—633 0,300—0,500	633—569,7 0,500—0,600	569,7—506,4 0,600—0,700	506,4—316,5 0,700—1,000
	<b>ИПТП</b>	<b>0,000—0,219</b>	<b>0,219—0,413</b>	<b>0,413—0,589</b>	<b>0,589—0,758</b>	<b>0,758—1,000</b>
2	Занятость населения					
2.1	Численность зарегистрированных безработных, тыс. чел.	8,95—14,32 0,000—0,200	14,32—17,9 0,200—0,330	17,9—21,48 0,330—0,470	21,48—26,85 0,470—0,670	26,85—35,8 0,670—1,000
2.2	Уровень безработицы, %	2,4—3,8 0,000—0,194	3,8—4,8 0,194—0,333	4,8—5,8 0,333—0,472	5,8—7,2 0,472—0,667	7,2—9,6 0,667—1,000
2.3	Среднегодовая численность занятых по виду экономической деятельности "Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха"	58,7—46,90 0,000—0,300	46,9—39,1 0,300—0,500	39,1—35,2 0,500—0,600	35,2—31,3 0,600—0,700	31,3—19,6 0,700—1,000
2.4	Среднегодовая численность занятых по виду экономической деятельности "Водоснабжение, водоотведение"	43,7—34,9 0,000—0,302	34,9—29,1 0,302—0,502	29,1—26,2 0,502—0,601	26,2—23,3 0,601—0,701	23,3—14,6 0,701—1,000
	<b>ИПЗН</b>	<b>0,000—0,249</b>	<b>0,249—0,417</b>	<b>0,417—0,535</b>	<b>0,535—0,684</b>	<b>0,684—1,000</b>
3	Демография					
3.1	Коэффициент естественного прироста населения на 1 000 чел. населения	2,7—1,8 0,000—0,091	1,8—(—1,8) 0,091—0,454	(—1,8)—(—3,6) 0,454—0,636	(—3,6)—(—5,4) 0,636—0,818	(—5,4)—(—7,2) 0,818—1,000
3.2	Коэффициент рождаемости, число родившихся на 1 000 чел. населения	18,15—14,52 0,000—0,300	14,52—12,1 0,300—0,500	12,1—10,89 0,500—0,600	10,89—9,68 0,600—0,700	9,68—6,05 0,700—1,000
3.3	Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	87,08—80,38 0,000—0,125	80,38—66,99 0,125—0,375	66,99—60,23 0,375—0,501	60,23—53,59 0,501—0,625	53,59—33,49 0,625—1,000
3.4	Коэффициент младенческой смертности, число детей, умерших в возрасте от 1 года на 1 тыс. родившихся живыми	2,6—4,1 0,000—0,197	4,08—5,1 0,197—0,329	5,1—6,1 0,329—0,461	6,1—7,7 0,461—0,671	7,7—10,2 0,671—1,000
	<b>ИПД</b>	<b>0,000—0,178</b>	<b>0,178—0,415</b>	<b>0,415—0,549</b>	<b>0,549—0,704</b>	<b>0,704—1,000</b>
4	Образование					
4.1	Число образовательных организаций, ед.	2037—1630 0,000—0,301	1630—1368 0,301—0,494	1368—1231 0,494—0,596	1231—1094 0,596—0,697	1094—684 0,697—1,000
4.2	Число профессиональных образовательных организаций, осуществляющих подготовку специалистов среднего звена, ед.	107—85 0,000—0,310	85—71 0,310—0,507	71—64 0,507—0,606	64—57 0,606—0,704	57—36 0,704—1,000
4.3	Число образовательных организаций высшего образования и научных организаций, ед.	12—10 0,000—0,250	10—8 0,250—0,500	8—7 0,500—0,625	7—6 0,625—0,750	6—4 0,750—1,000

Окончание табл. 2

№ п/п	Показатели	Социальные факторы				
		I	II	III	IV	V
4.4	Численность студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры на 10 000 чел. населения	<u>744—595</u> 0,000—0,300	<u>595—496</u> 0,300—0,500	<u>496—446</u> 0,500—0,601	<u>446—397</u> 0,601—0,700	<u>397—248</u> 0,700—1,000
	<b>ИПО</b>	<b>0,000—0,290</b>	<b>0,290—0,500</b>	<b>0,500—0,607</b>	<b>0,607—0,713</b>	<b>0,713—1,000</b>
5	Социальная обеспеченность					
5.1	Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, км путей/1000 км <sup>2</sup> территории	<u>379,5—318,0</u> 0,000—0,300	<u>318—265</u> 0,300—0,500	<u>265—238,5</u> 0,500—0,600	<u>238,5—212</u> 0,600—0,700	<u>212—132,5</u> 0,700—1,000
5.2	Использование свежей воды, млн. м <sup>3</sup>	<u>1059—1694,4</u> 0,000—0,200	<u>1694,4—2118</u> 0,200—0,333	<u>2118—2541,6</u> 0,333—0,467	<u>2541,6—3177</u> 0,467—0,667	<u>3177—4236</u> 0,667—1,000
5.3	Плоскостные спортивные сооружения, ед.	<u>9046—7237</u> 0,000—0,300	<u>7237—6031</u> 0,300—0,500	<u>6031—5428</u> 0,500—0,600	<u>5428—4825</u> 0,600—0,700	<u>4825—3016</u> 0,700—1,000
5.4	Стадионы с трибунами на 1500 мест и более, ед.	<u>84—67</u> 0,000—0,304	<u>67—56</u> 0,304—0,500	<u>56—50</u> 0,500—0,607	<u>50—45</u> 0,607—0,696	<u>45—28</u> 0,696—1,000
5.5	Объем коммунальных услуг на душу населения	<u>18088,5—14470,8</u> 0,000—0,300	<u>14470,8—12059</u> 0,300—0,500	<u>12059—10853,1</u> 0,500—0,600	<u>10853,1—9647,2</u> 0,600—0,700	<u>9647,2—6029,5</u> 0,700—1,000
5.6	Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя	<u>29,55—23,64</u> 0,000—0,300	<u>23,64—19,7</u> 0,300—0,500	<u>19,7—17,73</u> 0,500—0,600	<u>17,73—15,76</u> 0,600—0,700	<u>15,76—9,85</u> 0,700—1,000
	<b>ИПСО</b>	<b>0,000—0,284</b>	<b>0,284—0,472</b>	<b>0,472—0,579</b>	<b>0,579—0,694</b>	<b>0,694—1,000</b>
6	Заболееваемость					
6.1	Численность населения на одну больничную койку, чел.	<u>49,7—79,52</u> 0,000—0,200	<u>79,52—99,4</u> 0,200—0,333	<u>99,4—119,28</u> 0,333—0,467	<u>119,28—149,1</u> 0,467—0,667	<u>149,1—198,8</u> 0,667—1,000
6.2	Заболееваемость на 1 000 чел. населения	<u>373,45—597,52</u> 0,000—0,200	<u>597,2—746,9</u> 0,200—0,333	<u>746,9—896,28</u> 0,333—0,467	<u>896,28—1120,35</u> 0,467—0,667	<u>1120,35—1493,8</u> 0,667—1,000
	<b>ИПЗ</b>	<b>0,000—0,293</b>	<b>0,293—0,503</b>	<b>0,503—0,619</b>	<b>0,619—0,733</b>	<b>0,733—1,000</b>
<b>ИИС</b>		<b>0,000—0,240</b>	<b>0,240—0,433</b>	<b>0,433—0,563</b>	<b>0,563—0,710</b>	<b>0,710—1,000</b>

Блок экономических факторов — интегральный индекс экономических факторов (ИИЭ) включает следующие интегральные показатели — благососто-

яния (ИПБ) — 6 критериев, производительности (ИПП) — 7 критериев и доходов населения (ИПДН) — 3 критерия (табл. 3).

Таблица 3

Критерии и оценочные шкалы, учитываемые в экономическом блоке

	Показатели	Экономические факторы				
		I	II	III	IV	V
1	Благосостояние					
1.1	Затраты на охрану окружающей среды	<u>12450—9960</u> 0,000—0,300	<u>9960—8300</u> 0,300—0,500	<u>8300—7470</u> 0,500—0,600	<u>7470—6640</u> 0,600—0,700	<u>6640—4150</u> 0,700—1,000
1.2	Индекс физического объема валового регионального продукта	<u>160,2—128,16</u> 0,000—0,300	<u>128,16—106,8</u> 0,300—0,500	<u>106,8—96,12</u> 0,500—0,600	<u>96,12—85,44</u> 0,600—0,700	<u>85,44—53,4</u> 0,700—1,000
1.3	Инвестиции в основной капитал по виду экономической деятельности "сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство"	<u>21216—16972,8</u> 0,000—0,300	<u>16972,8—14144</u> 0,300—0,500	<u>14144—12729,6</u> 0,500—0,600	<u>12729,6—11315,2</u> 0,600—0,700	<u>11315,2—7072</u> 0,700—1,000
1.4	Инвестиции в основной капитал по виду экономической деятельности "обеспечение электрической энергии"	<u>84 061,35—67249,08</u> 0,000—0,300	<u>67249,08—56040,9</u> 0,300—0,500	<u>56040,9—50436,81</u> 0,500—0,600	<u>50436,81—44832,72</u> 0,600—0,700	<u>44832,72—28020,45</u> 0,700—1,000
1.5	Число рыбоводных предприятий, ед.	<u>147—117,6</u> 0,000—0,306	<u>117,6—98</u> 0,306—0,506	<u>98—88,2</u> 0,506—0,605	<u>88,2—78,4</u> 0,605—0,704	<u>78,4—49</u> 0,704—1,000
1.6	Число рыболовных предприятий, ед.	<u>122—97,2</u> 0,000—0,300	<u>97—81</u> 0,300—0,500	<u>81—73</u> 0,500—0,600	<u>73—65</u> 0,600—0,700	<u>65—41</u> 0,700—1,000
	<b>ИПБ</b>	<b>0,000—0,301</b>	<b>0,301—0,501</b>	<b>0,501—0,601</b>	<b>0,601—0,701</b>	<b>0,701—1,000</b>
2	Производительность					
2.1	Улов рыбы и добыча других водных биоресурсов	<u>32482,5—25986</u> 0,000—0,300	<u>25986—21655</u> 0,300—0,500	<u>21655—19489,5</u> 0,500—0,600	<u>19489,5—17324</u> 0,600—0,704	<u>17324—10827,5</u> 0,704—1,000
2.2	Валовый сбор зерна (в весе после доработки)	<u>20189,4—161151,52</u> 0,000—0,300	<u>16151,52—13459,6</u> 0,300—0,500	<u>13459,6—12113,64</u> 0,500—0,600	<u>12 113,64—10 767,68</u> 0,600—0,700	<u>10767,68—6729,8</u> 0,700—1,000

Окончание табл. 3

	Показатели	Экономические факторы				
		I	II	III	IV	V
2.3	Валовый сбор сахарной свеклы	1216,5—973,2 0,000—0,300	973,2—811 0,300—0,500	811—729,9 0,500—0,600	729,9—648,8 0,600—0,700	648,8—405,5 0,700—1,000
2.4	Валовый сбор семян подсолнечника	2144,25—1715,4 0,000—0,300	1715,4—1429,5 0,300—0,500	1429,5—1286,55 0,500—0,600	1286,55—1143,6 0,600—0,700	1143,6—714,75 0,700—1,000
2.5	Валовый сбор картофеля	533,1—426,48 0,000—0,300	426,48—355,4 0,300—0,500	355,4—319,86 0,500—0,600	319,86—284,32 0,600—0,700	284,32—177,7 0,700—1,000
2.6	Индекс промышленного производства	192,9—154,32 0,000—0,300	154,32—128,6 0,300—0,500	128,6—115,74 0,500—0,600	115,74—102,88 0,600—0,700	102,88—64,3 0,700—1,000
2.7	Производство электроэнергии, млрд. кВт-ч	66,9—53,52 0,000—0,300	53,52—44,6 0,300—0,500	44,6—40,14 0,500—0,600	40,14—35,68 0,600—0,700	35,68—22,3 0,700—1,000
	<b>ИПП</b>	<b>0,000—0,300</b>	<b>0,300—0,500</b>	<b>0,500—0,600</b>	<b>0,600—0,701</b>	<b>0,701—1,000</b>
3	Доходы населения					
3.1	Среднедушевые денежные доходы населения	167,7—134,16 0,000—0,300	134,16—111,8 0,300—0,500	111,8—100,62 0,500—0,600	100,62—89,44 0,600—0,700	89,44—55,9 0,700—1,000
3.2	Численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума, в % от общей численности населения субъекта	6,55—10,48 0,000—0,200	10,48—13,1 0,200—0,333	13,1—15,72 0,333—0,468	15,72—19,65 0,468—0,667	19,65—26,2 0,667—1,000
3.3	Соотношение с величиной прожиточного минимума, % среднемесячной начисленной заработной платы работников организаций	529,35—423,48 0,000—0,300	423,48—352,9 0,300—0,500	352,9—317,61 0,500—0,600	317,61—282,32 0,600—0,700	282,32—176,45 0,700—1,000
	<b>ИПД</b>	<b>0,000—0,267</b>	<b>0,267—0,444</b>	<b>0,444—0,556</b>	<b>0,556—0,689</b>	<b>0,689—1,000</b>
<b>ИИЭ</b>		<b>0,000—0,289</b>	<b>0,289—0,482</b>	<b>0,482—0,586</b>	<b>0,586—0,645</b>	<b>0,645—1,000</b>

Свертка полученных интегральных показателей по каждому блоку в единый КИЭБ производилась путем комбинации разных значений весов. Таким обра-

зом, используется 5 моделей, на основании которых получены оценочные шкалы, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Оценочные шкалы КИЭБ для разных вариантов задания весов

Показатели	I класс Высокая степень экологического благополучия	II класс Нормальная степень экологического благополучия	III класс Средняя степень экологического благополучия	IV класс Низкая степень экологического благополучия	V класс Чрезвычайно низкая степень экологического благополучия
<b>W<sub>1</sub> = W<sub>2</sub> = W<sub>3</sub></b>					
<b>КИЭБ<sub>в</sub></b>	0,000—0,229 Δ = 0,229	0,229—0,414 Δ = 0,185	0,414—0,549 Δ = 0,135	0,549—0,691 Δ = 0,142	0,691—1,000 Δ = 0,309
<b>W<sub>1</sub> &gt; W<sub>2</sub> = W<sub>3</sub>, W<sub>1</sub> = 0,70; W<sub>2</sub> = 0,15; W<sub>3</sub> = 0,15</b>					
<b>КИЭБ<sub>в</sub></b>	0,000—0,191 Δ = 0,191	0,191—0,366 Δ = 0,175	0,366—0,521 Δ = 0,155	0,521—0,707 Δ = 0,186	0,707—1,000 Δ = 0,293
<b>W<sub>1</sub> = W<sub>2</sub> &gt; W<sub>3</sub>, W<sub>1</sub> = 0,35; W<sub>2</sub> = 0,35; W<sub>3</sub> = 0,30</b>					
<b>КИЭБ<sub>в</sub></b>	0,000—0,227 Δ = 0,227	0,227—0,411 Δ = 0,184	0,411—0,547 Δ = 0,136	0,547—0,695 Δ = 0,148	0,695—1,000 Δ = 0,305
<b>W<sub>1</sub> &lt; W<sub>2</sub> &lt; W<sub>3</sub>, W<sub>1</sub> = 0,25; W<sub>2</sub> = 0,35; W<sub>3</sub> = 0,40</b>					
<b>КИЭБ<sub>в</sub></b>	0,000—0,240 Δ = 0,240	0,240—0,426 Δ = 0,186	0,426—0,556 Δ = 0,130	0,556—0,687 Δ = 0,131	0,687—1,000 Δ = 0,313
<b>W<sub>1</sub> = W<sub>2</sub> &lt; W<sub>3</sub>, W<sub>1</sub> = 0,25; W<sub>2</sub> = 0,25; W<sub>3</sub> = 0,50</b>					
<b>КИЭБ<sub>в</sub></b>	0,000—0,245 Δ = 0,245	0,245—0,431 Δ = 0,186	0,431—0,559 Δ = 0,128	0,559—0,681 Δ = 0,122	0,681—1,000 Δ = 0,319

Примечание: Δ — ширина диапазона ИП для класса.

### Результаты и выводы

В качестве объекта для апробации оценки КИЭБ использовалось Веселовское водохранилище, которое входит в Маньчжурский каскад. Ситуационная карта-схема расположения водохранилища представлена на рис. 4.



Рис. 4. Ситуационная карта-схема расположения Веселовского водохранилища

Для первой модели выполняется условие равновесности или одинаковой значимости трех блоков — экологических, экономических и социальных факторов. Таким образом, значимость каждого фактора равнозначна и определяет экологическое благополучие системы с позиции антропоцентризма.

В соответствии со второй моделью задание весов выполняется с условием, при котором высокая значимость отводится экологическим факторам и минимальное с равными значениями — для экономических и социальных факторов. Таким образом, в приоритет ставится экосистема. Данный сценарий возможен, когда регион (населенные пункты, относящиеся к ПТС) достигает определенного экономического и социального развития или в случае экопо-

лений с соответствующей инфраструктурой и потребностями населения.

Третья модель предполагает равенство весов социальных и экологических факторов и несколько меньшую значимость экономического блока. Данный сценарий выполняется при условии высокой значимости экологического фактора, т. к. в данном случае присутствует корреляция критериев, относящихся к качеству воды и заболеваемости, туристической привлекательностью и др.

Четвертая модель учитывает наибольший вес блока экономического фактора и намного меньший вес для социального и экологического факторов. Такой вариант модели является аналогом развития Челябинской области, где преобладает деградация экосистем и высокий уровень заболеваемости среди населения. Пятая модель отличается от четвертой равновесностью экологических и социальных факторов.

Питание водохранилища осуществляется за счет стока воды из Донского магистрального канала (ДМК) [29]. Большая часть исследований посвящена агропромышленно-хозяйственному, а также мелиоративному значению водного объекта [30—32]. Основной проблемой данного водоема относительно экологических факторов является повышенная минерализация.

Одним из основных целевых использований водохранилища является удовлетворение нужд водопользователей в воде надлежащего качества, что определяет значимость, необходимость мониторинга и оценки экологического благополучия данной ПТС.

Оценка ЭБ Веселовского водохранилища производилась по принципу "патч-моделей" как для точечного объекта и не предполагает районирования или дробления на участки. Оценка выполнена на основании данных литературных источников и спутниковых снимков Landsat 8.

В табл. 5 приводятся результаты расчета для 5 расчетных моделей при разной значимости экологических, экономических и социальных факторов.

Таблица 5

Результаты расчета КИЭБ для Веселовского водохранилища

	$W_1 = W_2 = W_3$	$W_1 > W_2 = W_3$	$W_1 = W_2 > W_3$	$W_1 < W_2 < W_3$	$W_1 = W_2 < W_3$
ИПГФ	0,641	0,641	0,641	0,641	0,641
ИПГХ	0,207	0,207	0,207	0,207	0,207
ИПТ	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
ИПГБ	0,783	0,783	0,783	0,783	0,783
ИИК	<b>0,409</b>	<b>0,409</b>	<b>0,409</b>	<b>0,409</b>	<b>0,409</b>
ИППА	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
ИППБ	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520
ИИП	<b>0,280</b>	<b>0,280</b>	<b>0,280</b>	<b>0,280</b>	<b>0,280</b>
ИПФГ	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
ИПК	0,492	0,492	0,492	0,492	0,492
ИПГ	0,582	0,582	0,582	0,582	0,582
ИИУ	<b>0,525</b>	<b>0,525</b>	<b>0,525</b>	<b>0,525</b>	<b>0,525</b>
<b>ИИЭКО</b>	<b>0,404</b>	<b>0,404</b>	<b>0,404</b>	<b>0,404</b>	<b>0,404</b>
ИПТП	0,311	0,311	0,311	0,311	0,311
ИПЗН	0,484	0,484	0,484	0,484	0,484
ИПД	0,462	0,462	0,462	0,462	0,462
ИПО	0,502	0,502	0,502	0,502	0,502
ИПСО	0,491	0,491	0,491	0,491	0,491
ИПЗ	0,415	0,415	0,415	0,415	0,415
<b>ИИС</b>	<b>0,471</b>	<b>0,471</b>	<b>0,471</b>	<b>0,471</b>	<b>0,471</b>
ИПБ	0,681	0,681	0,681	0,681	0,681
ИПП	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574
ИПД	0,491	0,491	0,491	0,491	0,491
<b>ИИЭ</b>	<b>0,582</b>	<b>0,582</b>	<b>0,582</b>	<b>0,582</b>	<b>0,582</b>
КИЭБ	0,486	0,440	0,481	0,499	0,510

Наименьший результат КИЭБ дает вторая модель при наибольшей значимости экологических факторов, КИЭБ = 0,440. Значение КИЭБ больше на 0,041 при равенстве значений экологических и социальных факторов и наименьшего вклада в общее значение блока экономических факторов. При равенстве вклада каждого фактора КИЭБ составляет 0,486 и больше на 0,046 минимального значения. КИЭБ равняется 0,499 для случая, когда весомость экологического фактора меньше социального и наибольшего вклада в экономические факторы. Наибольшее значение КИЭБ составляет 0,510 для случая равновесности экологических и социальных факторов, в то время как экономические факторы имеют наибольший вклад в общую модель.

Как видно из результатов оценки композитного индекса экологического благополучия для Веселовского водохранилища наихудший результат получен для моделей, когда экономические факторы несут в себе больший вклад, чем экологические и социальные. Следовательно, данный фактор требует большего внимания для экологического благополучия. В частности, такие критерии как благосостояние и производительность внутренних субиндексов экономического блока дают значения, попадающие в IV класс и требуют большего внимания к планированию "устойчивого развития" системы. В общем случае с учетом неопределенностей, связанных с отсутствием непрерывных данных мониторинга качества и загрязненности водного объекта, а также того, что экономические и социальные факторы относятся к Ростовской области в целом, а не конкретно к близлежащим населенным пунктам, композитный индекс экологического благополучия Веселовского водохранилища находится в III классе — средняя степень экологического благополучия.

В результате анализа показателей интегральной оценки принятия превентивных мероприятий также требуют субиндексы гидробиологических и гидрофизических показателей качества, биотические показатели продуктивности водного объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный конституционный закон от 06 ноября № 4-ФКЗ "О Правительстве Российской Федерации" // Собр. законодательства Российской Федерации. 2020. № 45. ст. 7061.
2. Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) от 29 декабря 2020 г. № 1118 "Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей.
3. Распоряжение от 29 октября 2021 г. N 3052-р "О Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года" [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/726639341> (дата обращения: 25.03.2022).
4. Послание Президента РФ В. В. Путина Федеральному Собранию РФ от 21 апреля 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/1458176/> (дата обращения: 25.03.2022).
5. "План деятельности Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации на 2019—2024 годы" (утв. Минприроды России 11.03.2022 N 9/12) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_413196/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_413196/) (дата обращения: 25.03.2022).
6. Постановление Конституционного Суда РФ от 21.04.2020 г. № 19-П "По делу о проверке конституционности ст. 98.1 Лесного кодекса Российской Федерации в связи с жалобой общества с ограниченной ответственностью "Горизонт" [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_350896/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_350896/) (дата обращения: 25.03.2022).
7. Андрианов В. Д. Россия: экономический и инвестиционный потенциал. — М.: Экономика, 2006. — 321 с.
8. Мазур И. И., Молдаванов О. И. Курс инженерной экологии: учеб. для вузов / под ред. Мазура И. И. — М.: Высш. шк., 1999. — 447 с.
9. Макаре С. В. Основы экономики природопользования: учеб. пособие Ин-т междунар. права и экономики им. А. С. Грибоедова. — М.: ИМПЭ им. А. С. Грибоедова, 1998. — 192 с.
10. Уразаев Н. А., Бакулин А. А., Никитин А. В. и др. Сельскохозяйственная экология: учеб. пособие для вузов / под ред. Уразаева Н. А. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Колос, 2000. — 304 с.
11. Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек: учеб. пособие для вузов, средних школ и колледжей. Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: ФАИР-ПРЕСС, 2005. — 736 с.
12. Барков А. В. Экологическое благополучие как объект правового обеспечения в зарубежной и российской правоприменительной практике // Проблемы в Российском законодательстве. 2021. Т. 14. № 4. С. 203—208.
13. Шаталова К. Ю., Болгов М. В. Моделирование проточности Волго-Ахтубинской поймы для оценки экологического благополучия водных объектов: сб. научных трудов "Научное обеспечение реализации "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года". 2015. С. 210—215.
14. Добрынина А. С., Дмитриев В. В. Разработка и апробация моделей интегральной оценки экологического благополучия речной системы // Мат. VII Открытой междунар. молодежной науч.-практ. конф., посвященной 70-летию основания Краснодарского регионального отделения Русского географического общества и 20-летию основания Филиала РГГМУ в г. Туапсе. 2016. С. 74—78.
15. Гутова М. О. Оценка экологического благополучия рек среднего Урала в зонах с повышенной техногенной нагрузкой: сб. мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. 2018. С. 163—167.
16. Двинских С. А., Копылов И. С. Концепция индекса экологического благополучия города // Сб. научных статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию профессора И. А. Печеркина. 2019. С. 75—86.
17. Мокрый А. В. Опыт апробации нового индекса экологического благополучия экосистем: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. "Современные условия взаимодействия науки и техники". 2018. С. 15—18.
18. Бондаренко А. И. Обоснование значения действующего экологического законодательства Оренбургской области в обеспечении экологического благополучия Оренбургского района: сб. статей XV Всерос. науч.-практ. конф. "Организации территории: статика, динамика, управление". — Башкирский государственный педагогический университет, 2018. С. 30—33.
19. Свергузова С. В., Беловодский Е. А. Повышение уровня экологического благополучия населения как одна из задач управления городом // Управление городом: теория и практика. 2017. С. 33—39.
20. Минкина А. В. Индекс экологического благополучия территории как способ улучшения экологической ситуации Пермского края: мат. междунар. конф. памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка. "Проблемы антропогенной трансформации природной среды". — Пермь, 2019. С. 272—275.
21. Карамова Л. М. Социально-гигиенические аспекты здоровья рабочих НПЗ. — Уфа: Башк. кн. изд-во, 1990. — 110 с.
22. Молчанов И. Н., Молчанова Н. П. Экологическое благополучие: цель и средства достижения // Экономика. Налоги. Право. 2019. № 5. С. 32—43.
23. Амиров Я. С., Сайфуллин Н. Р., Гимаев Р. Н. Техно-экономические аспекты промышленной экологии. Ч. 2. Защита водоемов. 1995. — 263 с.
24. ГОСТ 17.1.1.01-77. Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения (с Изменениями N 1, 2). — М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. — 31 с.
25. Абрамов А. И., Елизаров Д. П., Ремезов А. Н. и др. Повышение экологической безопасности ТЭС: учеб. пособие для вузов / под ред. Седлова А. С. — М.: Изд-во МЭИ, 2002. — 378 с.
26. Никитин Д. П., Новиков Ю. В. Окружающая среда и человек: учеб. пособие для студентов небиологических специальностей высших учебных заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 415 с.
27. Хованов Н. В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. — СПб.: СПбГУ, 1996. — 195 с.
28. Зуева Н. В., Гальцова В. В., Дмитриев В. В., Степанова А. Б. Использование структурных характеристик сообществ



макрофитов как индикатора экологического состояния малых рек запада Ленинградской области // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. № 4. 2007. С. 60—71.

29. **Коханистая Е. В., Хоружая Т. А.** Современный уровень загрязнения Пролетарского и Веселовского водохранилищ // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: естественные науки. 2015. № 2(186). С. 88—92.

30. **Васильева Е. Д., Лужняк В. А.** Рыбы бассейна Азовского моря. — Ростов-на-Дону: Изд. ЮНЦ РАН, 2013. — 272 с.

31. **Витковский А. З.** Современное состояние ихтиофауны водохранилищ Манычского каскада: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. — Ставрополь, 2000. — 24 с.

32. **Штанько А. С., Аюбян А. В., Сафарова Н. И.** Обобщение и анализ нормативных документов, определявших режим использования водных ресурсов Пролетарского, Веселовского и Усть-Манычского водохранилищ // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 1. С. 180—190.

## Integral assessment of ecological well-being of the natural-technogenic reservoir system using composite indices

**A. G. CHVERTKIN, S. N. BULYCHEV**

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

**E. A. VASKOVA**

Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

FSBI "State Hydrological Institute", St. Petersburg, Russia

*The article is devoted to the development and application of the composite index of ecological well-being (CEI) of natural-technogenic system (PTS). The aim of the work is to assess the ecological well-being of PTS — reservoir, through the application of the developed composite index of ecological well-being. The assessment uses 79 criteria divided into 3 blocks — ecological, economic and social factors. Veselovsky reservoir has been used for evaluation testing with the use of 5 different models for setting weights in the last level of convolution of 3 main blocks. Assessment of ecological well-being of the system was performed for 5 classes (from I — high; to V — low). As a hypothesis it was accepted that by applying the method of summary indicators, the method of randomized summary indicators, as well as the methodologies of analysis and synthesis of indicators in conditions of information deficit, it is possible to assess the ecological well-being of the natural-technogenic system. The main methods of scientific research: analysis, modeling, deduction. Main results achieved: it was determined that Veselovsky reservoir belongs to the III class of ecological well-being — medium degree of ecological well-being and the main criteria requiring the development of measures for the transition of PTS to the II class of ecological well-being were identified.*

**Keywords:** natural-technogenic system, ecological well-being, Veselovskoye reservoir, composite index, method of summary indicators, ecological well-being of the reservoir.

Bibliography — 32 references.

Received June 11, 2022

УДК 614.76

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_13

EDN: RBXABG

## Возможности использования электрофлотокомбайнов для очистки сточных вод

Б. С. КСЕНОФОНТОВ, д-р техн. наук; К. Р. РУСАНОВА

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

*Рассмотрены вопросы использования комбинированных электрофлотационных установок для очистки сточных вод. Приведены сведения по новым видам установок для электрофлотации. Показано, что моделирование электрофлотационного процесса очистки сточных вод достаточно хорошо подтверждается экспериментальными данными. При этом для модельных сточных вод экспериментальное подтверждение наблюдается при использовании упрощенной многостадийной модели флотационного процесса.*

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, комбинированные электрофлотационные установки, электрофлотокомбайны, многостадийная модель флотации.

Использование флотационных комбинированных аппаратов показывает, что их использование в большинстве случаев приводит к значимому эффекту [1—8]. Чаще всего установка в виде электрофлотокомбайна предназначена для глубокой очистки сточных вод от различных загрязнений. Задачей разработки являлось создание новой конструкции электрофлотокомбайна, обеспечивающей высокую степень очистки сточной воды от загрязнений.

Техническим результатом разработки установки являлось осуществление сброса очищенной воды в водоемы рыбохозяйственного назначения первой и второй категорий. Электрофлотокомбайн, предназначенный для очистки сточных вод [8] включает флотокомбайн, внутри корпуса которого расположены перегородки и пенный желоб с патрубком отвода пенного продукта в шнековый сгуститель, имеющий внешний привод, а с внешней стороны корпуса флотокомбайна установлены патрубки подвода рабочей жидкости, сточной воды и патрубок отвода очищенной воды, причем флотокомбайн содержит крышку. С флотокомбайном посредством патрубка отвода очищенной воды и трубопровода соединена электрофлотокамера, внутри которой установлены перфорированные электроды, расположенные перпендикулярно направлению потока очищаемой сточной воды, с биполярным включением, с внешней стороны электрофлотокамеры расположены патрубок отвода чистой воды, патрубок отвода осадка в шнековый сгуститель и пенный желоб с патрубком отвода

пенного продукта в шнековый сгуститель. Расстояние между электродами составляет от 0,01 до 0,09 от высоты электродов, а степень перфорации по живому сечению от 10 до 50 %. На рис. 1 представлена схема электрофлотокомбайна [8].

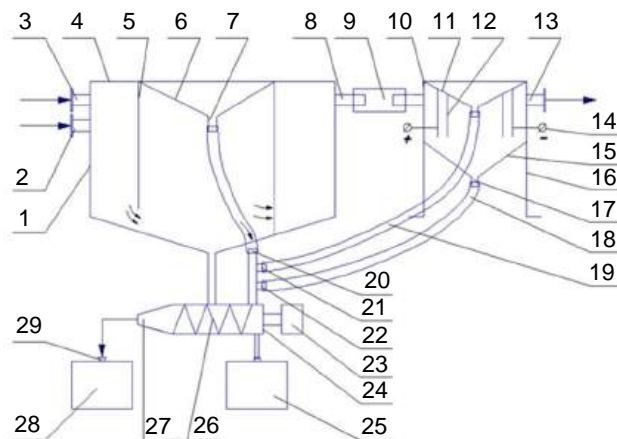


Рис. 1. Схема электрофлотокомбайна

Предлагаемый электрофлотокомбайн (рис. 1) имеет корпус 1, внутри которого расположены перегородки 5, а с внешней стороны установлены патрубки соответственно подвода рабочей жидкости 2, сточной воды 3, крышки 4, пенного желоба 6 с патрубком отвода пенного продукта 7, патрубка отвода очищенной воды 8, соединенного трубопроводом 9 с электрофлотокамерой 10, с внешней стороны которой установлены пенный желоб 11 для отвода пенного продукта и его подачи с помощью трубопровода 19 во входной патрубок 21 шнекового сгустителя 24, выходной патрубок чистой воды 13 и патрубок отвода осадка 17, соединенного трубопроводом 18 патрубком 22 подачи осадка в шнековый сгуститель 24.

Ксенофонов Борис Семенович, профессор кафедры "Экология и промышленная безопасность".  
E-mail: kbsflot@mail.ru

Русанова Кристина Родионовна, бакалавр.  
E-mail: kristinarusanova@gmail.com

Статья поступила в редакцию 9 апреля 2022 г.

© Ксенофонов Б. С., Русанова К. Р., 2022

Внутри электрофлотокамеры установлены перфорированные электроды 12, подключенные биполярно к клеммам 14 источника тока. При этом расстояние между электродами составляет от 0,01 до 0,09 высоты электродов, а степень перфорации, оцениваемая по живому сечению, может быть равной от 10 до 50 %. Данные соотношения были установлены и обоснованы при проведении опытных испытаний электрофлотокомбайна. Пенный продукт, отводимый через патрубок 7, далее по трубопроводу 20 поступает в шнековый сгуститель 24, имеющий шнек 26 с приводом 23, а также вывод осветленной воды в сборник 25. Сгущенный продукт через конический выходной патрубок 27 отводится в сборник осадка 28 через патрубок 29.

Принцип работы предлагаемого электрофлотокомбайна заключается в следующем.

Сточная вода через патрубок 3, а рабочая жидкость через патрубок 2 поступают внутрь корпуса 1, где происходит комбинированный флотационный процесс предварительной очистки воды. Дальнейший процесс доочистки воды происходит в электрофлотокамере 10, откуда чистая вода выводится через патрубок 13 и используется по назначению.

Пенный продукт, образующийся при осуществлении комбинированного флотационного процесса очистки воды, из пенного желоба 6 поступает через патрубок 7 и трубопровод 20 в шнековый сгуститель 24, в который также подается самотеком пенный продукт и осадок из электрофлотокамеры 10 через патрубки соответственно 21 и 22. В шнековом сгустителе 24 происходит сгущение смеси пенных продуктов и осадка, после которого сгущенный концентрат поступает в сборник отходов 28, а осветленная вода — в сборник 25.

Качество полученной чистой воды, отводимой из патрубка 13, удовлетворяет требованиям качества воды для сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения, а степень сгущения смеси пенных продуктов и осадка делает ее транспортабельной с остаточной влажностью от 65 до 75 %. При использовании известных устройств качество очищенной воды не удовлетворяет требованиям качества воды водоемов рыбохозяйственного назначения по большинству показателей, и осадок необходимо дополнительно обезвоживать, чтобы он был транспортабельным.

Предлагаемый электрофлотокомбайн можно использовать автономно в качестве локальной очистной установки с площадью меньшей, чем в случае использования известных сооружений — аналогов до 1,5—2,5 раз.

Следует отметить, что установка в виде электрофлотокомбайна предназначена для очистки сточных вод от различных загрязнений, включая растворенные органические вещества и частицы коллоидных размеров.

Многостадийная модель электрофлотации с использованием рабочей жидкости по Б. С. Ксенофонову представлена на рис. 2.

В рассмотренной модели состояние  $A$  — исходное состояние системы;  $B$ ,  $C$ ,  $D$  — состояние прилипания частиц к пузырькам;  $K$  — состояние частиц в пенном слое.

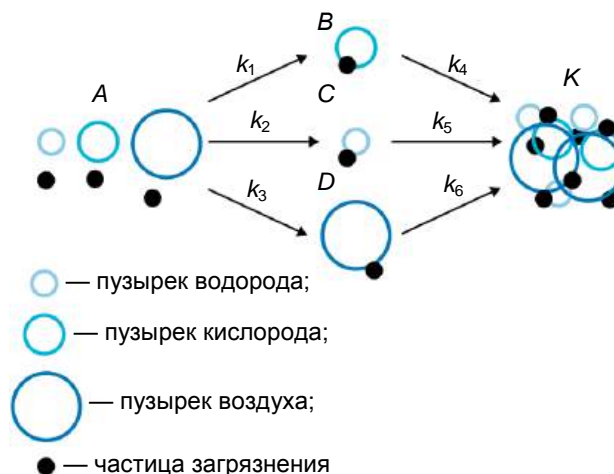


Рис. 2. Схема процесса электрофлотации на водороде и кислороде с использованием рабочей жидкости с растворенным воздухом

Процесс может быть описан системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dt}{d} C_A = -k_1 C_A - k_2 C_A - k_3 C_A; \\ \frac{dt}{d} C_B = k_1 C_A - k_4 C_B; \\ \frac{dt}{d} C_C = k_2 C_A - k_5 C_C; \\ \frac{dt}{d} C_D = k_3 C_A - k_6 C_D; \\ \frac{dt}{d} C_K = k_4 C_B + k_5 C_C + k_6 C_D, \end{cases} \quad (1)$$

где  $C_A$ ,  $C_B$ ,  $C_C$ ,  $C_D$ ,  $C_K$  — концентрации частиц в состоянии  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $K$  соответственно; состояние  $A$  — частицы загрязнений в исходном виде;  $B$  — флотокомплексы с пузырьками водорода;  $C$  — флотокомплексы с пузырьками кислорода;  $D$  — флотокомплексы с пузырьками воздуха;  $K$  — состояние частиц в пенном слое; константа  $k_1$  — описывает вероятность образования флотокомплекса "частица—пузырек водорода";  $k_2$  — вероятность образования флотокомплекса "частица—пузырек кислорода";  $k_3$  — вероятность образования флотокомплекса "частица—пузырек воздуха";  $k_4$  — характеризует процесс всплытия флотокомплекса "частица—пузырек водорода";  $k_5$  — процесс всплытия флотокомплекса "частица—пузырек кислорода";  $k_6$  — процесс всплытия флотокомплекса "частица—пузырек воздуха".

Начальные условия для данной системы уравнений при  $t = 0$ :

$$\begin{aligned} C_A(0) &= C_{A0} = 30 \text{ мг/л} \\ C_B(0) &= 0 \\ C_C(0) &= 0 \\ C_D(0) &= 0 \\ C_K(0) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Решение системы уравнений (1):

$$\begin{aligned}
 C_A(t) &= C_{A0} e^{-mt}; \\
 C_B(t) &= \frac{k_1 C_{A0}}{k_4 - m} (e^{-mt} - e^{-k_4 t}); \\
 C_C(t) &= \frac{k_2 C_{A0}}{k_5 - m} (e^{-mt} - e^{-k_5 t}); \\
 C_D(t) &= \frac{k_3 C_{A0}}{k_6 - m} (e^{-mt} - e^{-k_6 t}); \\
 C_K(t) &= C_{A0} \left[ 1 + \frac{k_1 k_4}{k_4 - m} \left( -\frac{1}{m} e^{-mt} + \frac{1}{k_4} e^{-k_4 t} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{k_2 k_5}{k_5 - m} \left( -\frac{1}{m} e^{-mt} + \frac{1}{k_5} e^{-k_5 t} \right) + \right. \\
 &\quad \left. + \frac{k_3 k_6}{k_6 - m} \left( -\frac{1}{m} e^{-mt} + \frac{1}{k_6} e^{-k_6 t} \right) \right],
 \end{aligned} \quad (3)$$

где  $m = k_1 + k_2 + k_3$ .

Вероятность образования флотокомплекса определяется константами  $k_{1,2,3}$ , которые могут быть вычислены по формулам из [1, 2]:

$$k_{1,2} = \frac{1,5 k_3 j E}{k_0 \bar{D} \rho}; \quad (4)$$

$$k_3 = \frac{1,5 q E}{k_0 \bar{D}}; \quad (5)$$

где  $k_3$  — электрохимический эквивалент вещества, кг/Кл;  
 $j$  — плотность тока, А/м<sup>2</sup>;  
 $E$  — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа при флотации, (безразм.);  
 $k_0$  — фактор полидисперсности пузырьков, (безразм.);  
 $\bar{D}$  — средний диаметр пузырьков во флотационной ячейке, м;  
 $\rho$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $q$  — скорость барботирования, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с).

Всплытие флотокомплекса характеризуется константами  $k_{4,5,6}$ , которые могут быть вычислены по формуле:

$$k_{4,5,6} = v_{\text{под}4,5,6} / H, \quad (6)$$

где  $v_{\text{под}4,5,6}$  — скорость подъема флотокомплекса, м/с;

$H$  — глубина флотокамеры, м.

Эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком определяется по формуле из [3]:

$$E = 0,5 \frac{r_c^{1,6}}{r_n^2} A^{1/6}, \quad (7)$$

где  $r_c$  — радиус частицы, м;

$r_n$  — радиус пузырька, м;

$A$  — константа Гамакера, Дж.

Помимо электрофлотации с использованием рабочей жидкости в модели учтено наличие коагулянта  $Al(OH)_3$ . Значение константы Гамакера для данного случая приведено в табл. 1.

Скорость подъема флотокомплекса определяется согласно [2]:

$$v_{\text{под}} = \bar{D}^2 g (\rho_v - \rho_r) / 18 \mu, \quad (8)$$

где  $\bar{D}$  — средний диаметр пузырьков во флотационной ячейке, м;

$\rho_v$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_r$  — плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  — вязкость жидкости, кг/м·с.

Таким образом, с помощью рассмотренной многостадийной модели флотации можно рассмотреть влияние различных параметров на эффективность процесса, таких как размер пузырьков (зависит от характера флотационного процесса), плотность тока и скорость барботирования. Модель многостадийной флотации также позволяет определить требуемое время очистки.

Для расчета и графического представления модели был выбран процесс очистки нефтесодержащих сточных вод. Расчет произведен с использованием исходных данных, представленных в табл. 1. Справочные данные взяты из [1, 2, 4].

Таблица 1

Исходные данные параметров флотационного процесса

Параметр	Значение
Средний диаметр пузырька водорода, $D_{H_2}$ , мкм	52
Средний диаметр пузырька кислорода, $D_{O_2}$ , мкм	60
Средний диаметр пузырька воздуха, $D_v$ , мкм	100
Диаметр частицы нефтепродуктов, $r_c$ , мкм	20
Константа Гамакера для $Al(OH)_3$ , $A$ , Дж	$12,5 \cdot 10^{-20}$
Плотность тока, $j$ , А/см <sup>2</sup>	10
Электрохимический эквивалент водорода, $k_{H_2}$ , кг/Кл	$1,045 \cdot 10^{-8}$
Электрохимический эквивалент кислорода, $k_{O_2}$ , кг/Кл	$8,29 \cdot 10^{-8}$
Фактор полидисперсности пузырьков, $k_0$ , (безразм.)	1
Скорость барботирования, $q$ , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·с)	$1,65 \cdot 10^{-5}$
Глубина флотокамеры, $H$ , м	1
Плотность водорода, $\rho_{H_2}$ , кг/м <sup>3</sup>	0,09
Плотность кислорода, $\rho_{O_2}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,329
Плотность воздуха, $\rho_{возд}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,275
Плотность воды, $\rho_v$ , кг/м <sup>3</sup>	1000
Вязкость жидкости, $\mu$ , кг/м·с	$1 \cdot 10^{-3}$

Рассчитанные по формулам (7) и (8) параметры представлены в табл. 2.

Полученные данные параметров использованы для расчета значений констант, значения которых представлены в табл. 3.

Решение системы дифференциальных уравнений в графическом виде представлено на рис. 3.

По графикам процесса определено время флотации. Требуемая концентрация нефтепродуктов в во-

де для использования в качестве оборотной, например, в случаях для мойки автомобилей, составляет 5 мг/л. Согласно рассчитанным значениям, необходимая концентрация достигается за 700 секунд.

Полученные теоретические данные подтверждаются ранее полученными экспериментальными данными по электрофлотационной очистке сточных вод (рис. 4).

Таблица 2

Рассчитанные параметры процесса

Параметр	Значение
Эффективность захвата частиц пузырьком водорода, $E_{H_2}$ , (безразм.)	$5,2 \cdot 10^{-3}$
Эффективность захвата частиц пузырьком кислорода, $E_{O_2}$ , (безразм.)	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Эффективность захвата частиц пузырьком воздуха, $E_{Возд.}$ , (безразм.)	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Скорость подъема флотокомплекса с пузырьком водорода, $v_{подH_2}$ , м/с	$1,5 \cdot 10^{-3}$
Скорость подъема флотокомплекса с пузырьком кислорода, $v_{подO_2}$ , м/с	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Скорость подъема флотокомплекса с пузырьком воздуха, $v_{подВозд.}$ , м/с	$5,4 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3

Значения констант флотационного процесса

Константа	Значение
$k_1, c^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$
$k_2, c^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$
$k_3, c^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
$k_4, c^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$
$k_5, c^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
$k_6, c^{-1}$	$5,4 \cdot 10^{-3}$

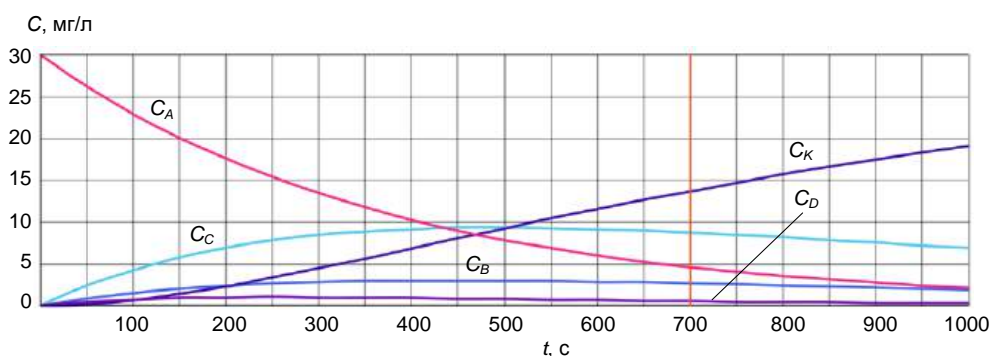
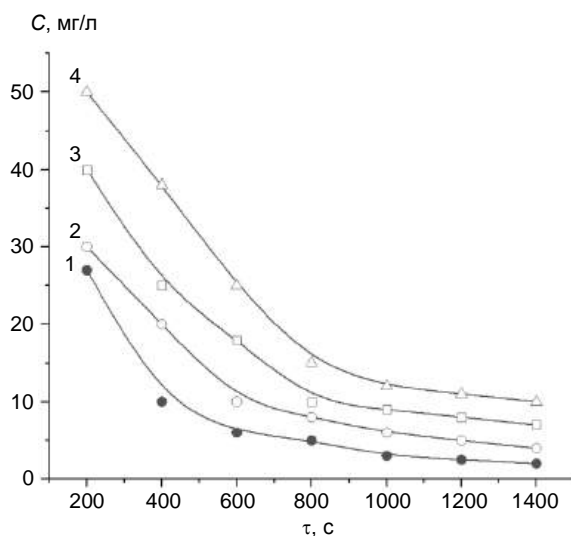


Рис. 3. Графическое представление решения системы дифференциальных уравнений, описывающей процесс электрофлотации на кислороде и водороде с использованием второй рабочей жидкости и электрохимического коагулянта



- 1 — модельная сточная вода;  
 2 — сточная вода после мойки легковых автомобилей;  
 3 — сточная вода после мойки грузовых автомобилей;  
 4 — сточная вода после мойки двигателей грузовых автомобилей

Рис. 4. Зависимость остаточной концентрации нефтепродуктов в модельной (кривая 1) и сточной воде после мойки автомобилей (кривые 2—4) от времени флотации



Сравнивая теоретические (рис. 3) и экспериментальные (рис. 4) данные, видно, что эти значения очень близки для модельной воды вплоть до 10 %. Это свидетельствует о том, что упрощение многостадийной модели оправдано для простых объектов в виде модельной воды. В случае применения моделирования для реальных сточных вод необходимо использовать все константы, характеризующие флотационный процесс [6, 7].

Таким образом, полученные данные можно рекомендовать для очистки нефтесодержащих сточных вод, например, после мойки автомобилей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ксенофонтов Б. С. Использование многостадийной модели флотации и разработка флотокомбайнов типа КБС для очистки воды. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. — 156 с.
2. Ксенофонтов Б. С., Антонова Е. С., Бондаренко А. В. и др. Моделирование очистки сточных вод электрофлотацией // Экология промышленного производства. 2015. № 1(89). С. 36—40.
3. Ксенофонтов Б. С., Антонова Е. С., Бондаренко А. В., Капитонова С. Н. Теоретические основы электрофлотационного способа очистки сточных вод и их экспериментальное подтверждение // Водочистка. 2014. № 8. С. 14—25.
4. Hacha Rojas Ronald, Merma Antonio G., Couto Hudson Jean Bianquni, Torem M. L. Measurement and analysis of H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> bubbles diameter produced by electroflotation processes in a modified Partridge-Smith cell // Powder Technology. 2018. № 342.
5. Антонова Е. С., Сазонов Д. В. Повышение эффективности очистки воды в пневмогидравлических флотационных установках // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 1. С. 3—9.
6. Ksenofontov B. S. Flotation: multistage and generalized models of the process: harvesters of Ksenofontov type and for special purpose. — Campbell, Calif.: Academus publ., 2021. — 298 p.
7. Ksenofontov B. S. Design and build flotocombines and water combines based on the principle of biosimile: monograph. — M.: Scientific library, 2021. — 225 p.
8. Ксенофонтов Б. С. Патент на полезную модель № 194985 "Электрофлотокомбайн", пр.22.08.2019, 10.01.2020.

## Possibilities of using electroflotation combines for wastewater treatment

B. S. KSENOFONTOV, K. R. RUSANOVA

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

*The article considers the issues of using combined electroflotation plants for wastewater treatment. Information on new types of installations for electroflotation is given. It is shown that the simulation of the electroflotation process of wastewater treatment is quite well confirmed by experimental data. At the same time, for model wastewater, experimental confirmation is observed when using a simplified multi-stage model of the flotation process.*

**Keywords:** wastewater treatment, combined electroflotation plants, electroflotation combines, multi-stage flotation model.

Bibliography — 8 references.

Received April 9, 2022

УДК 628.4

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_18

EDN: RXANKA

## Комплексное экологическое обследование и рекультивация водотоков и водоёмов на примере московского региона

А. А. ЕРХОВ, канд. техн. наук

Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,  
Москва, Россия

Е. А. КОРОЛЁВА, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия

*Даны оценки соответствия санитарным нормам водных источников и проводимым на водных объектах восстановительных мероприятий, которые заключаются в углублении дна, снижении количества водорослей и приведении в порядок прибрежной зоны. Представлены результаты реабилитации малых рек и водоёмов в московском регионе.*

**Ключевые слова:** водный объект, мониторинг, очистка дна, земснаряд.

В ходе естественных процессов (без антропогенного участия) на дне водоёмов образуется слой ила без вредных примесей, содержащий органоминеральные соединения медленного разложения отмерших мелких животных и растений (органические кислоты, спирты, эфиры, смолы), сульфиды (при наличии солей) Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Se и др., поэтому, как рекреационный ресурс или биологически активную жижу, ил применяют в пелоидотерапии для ванн или местных аппликаций. Однако в условиях города или при наличии иных источников загрязнения химический состав ила, в том числе по присутствию повышенных концентраций биогенных элементов, несёт угрозы, проявляющиеся в следующей последовательности явлений:

- резкий рост водорослей, в том числе одноклеточных;
- снижение растворённого кислорода;
- гнилостные процессы из-за нарушения экологического равновесия, обусловленные массовой гибелью и разложением флоры и фауны;
- неприятные запахи.

Наиболее проблемными являются: остаточный алюминий и перманганатная окисляемость, хотя по этим показателям качество приближается к нормативу, иногда превышает, нефтепродукты, новые специфические стойкие органические вещества с сильным токсическим действием, — значительная часть этих загрязнений не может быть удалена традицион-

ными методами. Часто химическое загрязнение сопровождается высоким бактериальным заражением [1].

Из-за отсутствия зоны санитарной охраны [2] выросла доля источников питьевого водоснабжения не отвечающих требованиям санитарных норм и правил до 65,8 %, в том числе 56 % подземных источников; в распределительной сети [3] из-за изношенности труб санитарно-гигиеническим нормативам не отвечает по химическому составу 2,4—3,3 % проб, по микробиологическим — 0,3 % (это повышенное содержание Fe, цветность, мутность) [4]. К различным проблемам и для разных источников применяют разнообразные методы.

**Поверхностные источники.** Централизованное водоснабжение московского региона осуществляется из поверхностных источников Москворецко-Вазузской и Волжской систем с водосборной площади 50 000 км<sup>2</sup> трёх областей: Московской, Тверской и Смоленской — в системы входят 15 водохранилищ полезным объёмом 2,3 км<sup>3</sup>. Суммарная водоотдача — не менее 126 м<sup>3</sup>/с обеспеченность 97 %.

**Подземные источники.** В черте города Москва канал эксплуатирует 62 артезианские скважины для случая ЧС; подача насосов 60 000 м<sup>3</sup>/сут.

Источников нецентрализованного водоснабжения — 176.

### Материалы и методы

Мониторинг состояния водоёмов и береговой линии — одно из направлений деятельности российских госструктур: Росводресурсы, Росгидромет, кроме того отдельные функции выполняют региональные и федеральные структуры МЧС РФ, включая его Государственную инспекцию по маломерным судам. Они оценивают гидрологические, гидрохимические и другие характеристики, при этом контроль комплексный, основанный на взаимодействии всех государствен-

**Ерхов Александр Александрович**, доцент кафедры "Строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения".

E-mail: a-erhov@yandex.ru

**Королёва Екатерина Александровна**, учебный мастер кафедры "Водоснабжение и водоотведение".

E-mail: KorolevaEA@mgsu.ru

Статья поступила в редакцию 16 июня 2022 г.

© Ерхов А. А., Королёва Е. А., 2022

ных и региональных структур, имеющих прямое или косвенное отношение к водным объектам [5]. Государственный мониторинг служит для:

- своевременного выявления и прогнозирования изменений состояния водных объектов;
- разработки мер предотвращения негативных процессов;
- оценки эффективности принятых мер;
- информационного обеспечения управленческих решений.

Экологический статус водоёмов урбанизированных ландшафтов определяют на основе гидробиологических показателей [6]; для комплексной оценки уровня химического загрязнения и степени влияния на биоценоз мониторинг должен включать анализ качества воды [7], донных отложений и прибрежной территории, гидротехнические сооружения (плотины, дамбы, запруды, причалы, мостовые переходы).

Данные автоматизированных систем сбора и обработки информации не являются окончательными в принятии решений — необходимы постоянные и временные станции-лаборатории на специализированном транспорте, включая воздушный, то есть наблюдения проводят наземные, водные и инспекции с пилотируемых летательных аппаратов. Современные методы сбора и обработки информации называют *умными технологиями (Smart Technologies)* или *точными* с использованием компонентов Интернета вещей (*Internet of Things (IoT)*), при этом широко используют дистанционное зондирование (*Remote Sensing (RS)*), большие данные (*Big Data*), воздушные и подводные беспилотники\*. Инструментарий беспилотных технологий: летательные аппараты, подвесное оборудование для забора проб воды, воздуха и почвы, программные комплексы обработки, хранения и передачи пользователям и заказчикам в режиме реального времени следующей информации:

- картографирования и созданных 2D/3D-моделей объектов, в том числе через каналы GNSS;
- фото- и видеосъёмки, включая зум для масштабирования;
- инфракрасной и тепловизионной съёмки в условиях плохой видимости или отсутствия доступа людей и транспорта;

- результатов проведённых отборов проб;
- результатов обработки любой информации;
- результатов прогнозирования природных процессов.

Наблюдения могут носить плановый или оперативный характер.

При непосредственном обследовании объекта на заиление для позиционирования применяют георадарное оборудование — геолокационный метод даёт точные данные о глубине залегания грунта, а методы ультразвукового исследования, электроразведки — на основе различных диапазонов электромагнитного излучения позволяют визуализировать состояние дна прямо на экране устройства и получать данные о плотности и строении отложений, и, таким образом, судить о необходимости восстановительных мероприятий.

С загрязнениями путём недопущения их распространения прежде всего призваны бороться очистные сооружения. В Москве они рассчитаны на полный цикл механической и биологической очистки — Курьяновские (1950—1976 гг.) и Люберецкие (1963—1996 гг.) проектировались и строились с учётом современных на тот момент технологий и требований к качеству очистки [8], поэтому изначально в их составе не было сооружений по удалению биогенных элементов и обеззараживанию, но уже в проектах цехов комплексной очистки ПУ "Зеленоградводоканал" (2001 г.) и "Южное Бутово" (1998 г.) усовершенствованная технология присутствует — здесь в процессе механической очистки не применяется первичное отстаивание, и биологическая очистка рассчитана на глубокое удаление соединений N и F, предусмотрены доочистка на песчаных фильтрах и обеззараживание ультрафиолетом; избыточный активный ил с ЦКОВ ПУ "Зеленоградводоканал" направляет по илопроводам 2 Д×700 мм протяженностью 33 км в систему московской канализации.

В рамках проводимой экологической политики по оздоровлению водных объектов города с начала 2000-х гг. Правительство Москвы наложило запрет на сброс в них снега, для утилизации которого были запроектированы и построены 35 стационарных снегосплавных пункта производительность 139,3 м³/сут.

Тем не менее, водоёмы и водотоки уже доведены до состояния, требующего ответственного решения, так как рекреация — мероприятие затратное.

**Очистка** — удаление со дна ила, растительности, мусора (рис. 1).

Для очистки и углубления водоёмов и водотоков применяют широкий модельный ряд техники, которую классифицируют по определенным характеристикам:

- амфибии, или универсальные земснаряды;
- земснаряды малогабаритные;
- плавающий экскаватор амфибия
- плавающий вездеход;
- миниземснаряд

Рис. 1. Техника для очистки и углубления водоёмов

\* В рамках направления сформировалось отдельное понятие *умные технологии исследования водных объектов (Smart Water Technologies)*, *умные системы для исследований воды (Smart Water Systems)*.

**Дноуглубление**, производимое путём изъятия подводного грунта, позволяет придать объекту оптимальную с точки зрения гидротехники и эстетики форму; при углублении и расширении меняется площадь сечения. Качественно проведённые работы позволяют значительно улучшить гидрологические показатели — уровень и скорость течения; улучшаются условия судоходства — судовый ход, подходы к портам и причалам.

**Благоустройство** — порой очень сложная задача, к решению которой также привлекают специализированную технику, позволяющую производить не только земляные работы, но и озеленение.

Наиболее универсальными в очистке и благоустройстве являются земснаряды и амфибии.

**Универсальные амфибии.** Амфибия "AMPHIBEX" канадского производства от "Normrock Industries Inc" [конфликт интересов здесь и далее отсутствует] объединила экскаватор, земснаряд, ледокол; может быть использована для обводнения, очистки водных объектов, разработки и осушения торфяников и болот, извлечения и транспортировки заражённого грунта, разборки ледяных заторов; технические возможности позволяют вести погрузочно-разгрузочные работы, укладку кабелей и различного типа труб. Работы можно вести круглосуточно в любое время года в солёных и пресных водах (рис. 2).



Рис. 2. Amphibex AE450E

**Земснаряды.** Землесосный земснаряд для сбора со дна донных отложений при помощи грунтового насоса и передачи пульпы под высоким давлением по системе плавающих и береговых трубопроводов на иловые карты или грунтоотвозные баржи — это ещё одно решение при планировании рекреационных работ. Примером является земснаряд модели 5012 LP Versi-Dredge® от Innovative Material Systems (IMS) (рис. 3). Ещё одним решением может быть особо специализированный земснаряд Watermaster (рис. 4).



Рис. 3. Перевозной гидравлический земснаряд



Рис. 4. Универсальный земснаряд

**Плавающие экскаваторы.** Экскаватор Waterking производят в Голландии — это плавающий экскаватор-амфибия, работающий в непроходимых болотистых местах. Экскаватор используют на прокладке трубопроводов через водные преграды, дноуглубительных работах. Для передвижения по воде предназначены гусеницы, играющие роль лопастей; башня вращается на 360°, не теряя равновесия (рис. 5).



Рис. 5. Спецтехника waterking

**Мини-земснаряды.** Моделей такой спецтехники предлагается множество: Нептун, Карп, Боцман, Юнга, Сом, Ил, Есо Lake, Крот и т. д. "КРОТ" применяют для:

- очистки искусственных и естественных водных объектов — удаления донных отложений [9];
- углубления водоёмов и русел рек;
- добычи сапропеля, песка, ила и т. д.;
- укрепления берегов;
- благоустройства территорий.

Состоит из катамарана с сидением для оператора, имеет компактную систему портативных насосов для размыва и извлечения грунта, рукава, комплект рабочих инструментов (стрелу с насадками, шнековый блок), металлическую сетку-фильтр для очистки верхних слоёв воды, кран-лебедку для облегчения спускоподъёмных операций, якорь. Производительность до 20 м³/ч (рис. 6).



Рис. 6. Мини-земснаряд "Крот"

## Результаты

**Реки.** Программа экологической реабилитации малых рек Московской обл. стартовала в 2016 г. и предполагала внедрение комплексного подхода, отличающегося от обычной расчистки. В ней прописана обязательная модернизация очистных сооружений. Главным элементом программы является устранение негативных факторов: заиления, зарастания русел и водоохраных зон, эрозии берегов, замусоривания, сброса сточных вод. Есть чем озаботиться — на территории Подмоскovie примерно 900 малых рек, многие деградируют, водоохраные зоны не определены и не поставлены на кадастровый учёт, на них не ведётся надзорная деятельность. Из 1466 км обследованных Минэкологии рек 673 оказалось в неудовлетворительном состоянии, реабилитации требует 118, в отношении остальных необходима санитарная расчистка. До 2023 г. запланирована реабилитация 73 км в шести муниципальных образованиях: 21,5 — в Балашихе (р. Пехорка и Малашка), 10 — в Мытищах (Яуза, Борисовка и Сукромка), 7,7 — в Красногорске (Банька), 11 — в Подольске (Пахра), 13 — в Щелковском р-не (Клязьма) и 10 — в Дмитровском (Альба).

Реабилитация состоит из восьми этапов:

- 1) устранение источников загрязнения реки, прекращение несанкционированного сброса сточных вод;
  - 2) расчистка берегов и акватории от мусора и валежника;
  - 3) удаление донных отложений (например, из Пехорки и Малашки предстоит извлечь св. 570 т) с обезвоживанием и утилизацией;
  - 4) крепление берегов.
- Конечной целью является восстановление экосистемы:
- 5) обогащение воды кислородом;
  - 6) запуск микроводорослей;
  - 7) высадка водных растений;
  - 8) зарыбление.

Высадка водных растений [10]: рогоза узколистного, камыша озёрного и элодеи канадской будет способствовать очищению воды и предотвращению цветения, токсичные сине-зелёные водоросли будут уничтожаться альголизацией — внесением суспензии хлореллы.

В планах разработка паспортов для 50 малых рек области. Далее они будут обследованы и затем включены в издание "Атлас малых рек Московской обл.". Предстоит обследовать 1200 км, относящихся к бассейнам рек Волги, Оки, Москвы, Клязьмы, Нары, Протвы, Пахры, Рузы, Истры, Дубны, Сестры, Осётр. Полученные данные позволят принять решение о расширении программы реабилитации (на главных реках региона — Москве, Оке и Клязьме — на некоторых участках 50-кратное превышение ПДК соединений Mn, Cu, Fe и др.).

**Водоёмы.** На территории ВАО Москвы в границах ООПТ ПИП "Косинский" расположены Косинские озера: Черное, Белое, Святое (единственные в Москве водоёмы естественного происхождения). Намечено проведение комплексного обследования, включая водосборный бассейн, при этом основными задачами будут оценка состояния и разработка комплекса мер по сохранению и оздоровлению. Для получения дан-

ных будет создана наблюдательная сеть в составе гидрологических и метеорологических постов, пробурено двадцать гидрогеологических скважин, разработана математическая модель водного режима. В течение трёх лет будут вестись синхронные наблюдения за уровнем воды, режимом питания, гидрогеологическими и метеорологическими условиями, химическим составом воды и донных отложений. Состав и сроки работ позволят изучить влияние изменчивости сезонных осадков, режима снеготаяния [11].

Исследует и проводит оздоровление водных объектов ГУП Мосводосток, — сейчас в работе 250 прудов. В комплексе мероприятий — выемка грунта и благоустройство территории. Начиная с 2014 г. завершено восстановление и благоустройство 34 объектов, на заключительной стадии улучшения ещё нескольких: Малого Коньковского, Федосьино и Удальцовских. В ближайшие годы будут приведены в порядок не менее 20 прудов: Гольяновский, Калитниковский, Коньково-Деревлево, Кольский, Капустянский, Ясный, Собачий, Лазенки и Лазоревые; решается вопрос о включении в перечень трёх прудов на Юго-Западе. Будут восстановлены 8 прудов: Мосфильмовский, Люблинский, Владимирский, Молжаниновский-2, Верхний, Мазилковский, 8 Марта, Медведковский.

## Заключение

В условиях отсутствия движения воды контролировать размножение растительности без фильтровального оборудования сложно, поэтому единственно верное решение — это своевременное обследование и выемка грунта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Ерхов А. А.** Качество питьевой воды в аспекте кишечных инфекционных микробных патологий и микробиоты в целом: сб. докладов XIV Междунар. науч.-техн. конф. "Яковлевские чтения". — М.: Изд. МГСУ, 2019. С. 45—53.
2. **Ерхов А. А., Рассказова А. М.** Мероприятия по охране земельных ресурсов и почвенного покрова при реконструкции дороги А-101. VIII Межд. науч. конф. "Молодые — наукам о Земле" 5—7 апреля 2016 г. МГРИ-РГГРУ — М. 2016. С. 355—357.
3. **Дерюшев Л. Г., Фрог Б. Н., Ерхов А. А.** О показателях качества воды: сб. докл. XIII науч.-техн. конф. "Яковлевские чтения". 15 марта 2018 г. — М.: АСВ. С. 30—34.
4. **Ерхов А. А., Королёва Е. А.** Микробиологический анализ воздуха в процессе эксплуатации инженерных систем и санация трубопроводов: сб. докл. XVI Междунар. науч.-техн. конф. "Яковлевские чтения". — М.: Изд. МИСИ, 2021. С. 92—113.
5. **Ерхов А. А.** Разработка методов контроля за исполнением водного законодательства для водоснабжения Владимирской обл.: сб. "Новые идеи в науках о Земле": в 7 т. / Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. — М.: РГГРУ, 2019. Т. 3. С. 471—475.
6. **Ерхов А. А., Королёва Е. А.** Гидробиологический контроль на станциях водоподготовки и сточных вод: сб. "Молодые — наукам о Земле" / Материалы IX Междунар. науч. конф. молодых учёных. — М.: РГГРУ, 2020. С. 355—358.
7. **Ерхов А. А.** Питьевая вода, как средовой фактор формирования иммунитета // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 6(150). С. 4—6.
8. **Королёва Е. А., Ерхов А. А.** Основы микробиологического анализа активного ила: сб. "Молодые — наукам о Земле" / Материалы IX Междунар. науч. конф. молодых учёных. — М.: РГГРУ, 2020. С. 359—363.
9. **Ерхов А. А., Фрог Б. Н.** Элиминация нефтяных загрязнений водных объектов на примере озера Щучье: сб. докладов XIV Междунар. науч.-техн. конф. "Яковлевские чтения". — М.: Изд. МГСУ, 2019. С. 71—76.



10. Королёва Е. А., Ерхов А. А. Механизм синергизма бактерий и водорослей в биопрудах. VIII Междунар. науч. конференция "Молодые — наукам о Земле" 5—7 апреля 2016 г. — М.: МГРИ-РГГРУ, 2016. С. 336—338.

11. Ерхов А. А., Королёва Е. А. Системный подход в проектировании биопрудов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 1(145). С. 36—47.

## Comprehensive environmental survey and reclamation of watercourses and water bodies using the example of the Moscow region

A. A. ERKHOV

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,  
Moscow, Russia

E. A. KOROLEVA

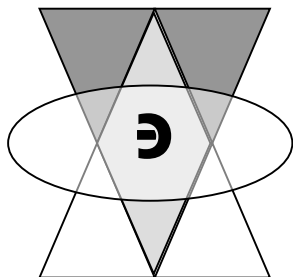
Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),  
Moscow, Russia

*Estimates of compliance with sanitary standards of water sources and restoration measures carried out at water bodies are given, which consist in deepening the bottom, reducing the amount of algae and putting in order the coastal zone. The results of rehabilitation of small rivers and reservoirs in the Moscow region are presented.*

**Keywords:** water body, monitoring, bottom cleaning, dredger.

**Bibliography** — 11 references.

*Received June 16, 2022*



# Очистка промышленных газовых выбросов

УДК 662.61.074:665.6

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_23

EDN: RXOHQT

## Результаты исследований влияния сжигания газа и мазута в нефтезаводских печах на загрязнение атмосферы и разработка новых технических решений по снижению вредных выбросов

В. Д. КАТИН, д-р техн. наук

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Россия  
Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

*Приведены результаты экологических исследований выбросов вредных веществ с дымовыми газами трубчатых нефтезаводских печей при сжигании газообразного и жидкого топлива. Показано, что при раздельном сжигании мазута наблюдаются значительные концентрации оксида углерода и оксидов азота, а при совместном горении жидкого топлива и нефтезаводских газов их содержание зависит от соотношения газа и мазута в составе сжигаемого топлива. Рекомендованы для практического применения на нефтеперерабатывающих заводах новые технические решения, сокращающие вредные выбросы из нефтезаводских печей, в том числе авторские разработки, защищенные патентами на изобретения. Предложена для внедрения новая конструкция малотоксичной горелки типа ГП-2 в трех вариантах исполнения: с возможностью перемещения мазутной форсунки, с дополнительным каналом подачи дымовых газов и с устройством распылителя пара, вводимого в зону горения топки печи.*

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающие заводы, нефтезаводские печи, газомазутные горелки, сжигание газообразного и жидкого топлива, вредные выбросы, оксиды азота и серы, оксид углерода, экологические исследования, новые технические решения, новая малотоксичная горелка ГП-2, распылитель пара.

На отечественных нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) разработка воздухоохраных мероприятий связана со сбором исходных данных выбросов загрязняющих веществ в целях планирования технических решений в области охраны атмосферы от загрязнения, а также с нормированием вредных выбросов на предприятиях. По данным результатов авторских исследований [1—3] и обзора литературы [4—6], источниками загрязнения атмосферного воздуха на НПЗ являются трубчатые печи, факелы и реакторы технологических установок, что обусловле-

но сжиганием газообразного и жидкого топлива. При совместно-раздельном сжигании газа и мазута в технологических печах в атмосферу поступают следующие загрязняющие вещества: оксиды азота, оксиды серы, оксид углерода, углеводороды и др. [2, 6]. Из технологических печей на НПЗ наиболее распространены коробчатые одно- и многокамерные трубчатые печи, а также цилиндрические печи со свободным и настильным факелом, печи беспламенного горения с резервным жидким топливом и дифференцированным подводом воздуха [1, 4, 5]. Реже находят применение одно- и двухскатные печи для первичной переработки нефти, а также для гидро- и термкрекинга. На всех печах эксплуатируются стандартные горелки, разработанные ВНИИнефтемашем. Основные типы нефтезаводских печей и конструкции горелочных устройств описаны в работах [4, 5]. Как показывают результаты исследований [2, 4], предприятия отрасли ежегодно выбрасывают в атмосферу более

---

**Катин Виктор Дмитриевич**, профессор кафедры "Техносферная безопасность", профессор кафедры "Инженерные системы и техносферная безопасность".  
E-mail: katinvd@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 июня 2022 г.

© Катин В. Д., 2022

1500 тыс. т загрязняющих веществ, в том числе: углеводородов — 1182, оксидов серы — 232, оксидов азота — 27, оксида углерода — 112 и прочих — 16 тыс. т.

В связи с этим следует отметить, что вопросы охраны атмосферы на НПЗ в полной мере не решены. Следует отметить также, что выбросы названных выше вредных веществ из нефтезаводских печей зависят от вида сжигаемого топлива, метода его сжигания, конструкции и компоновки горелок на печах и других факторов.

### Цель, методика и результаты экологических исследований

Цель работы — исследование состава продуктов сгорания и получение фактических данных по выбросам вредных веществ из трубчатых печей различной конструкции и назначения, а также разработка эффективных технических решений по их снижению. При этом концентрации углеводородов и кислорода (для определения коэффициента избытка воздуха) измеряли газохроматографическим методом в лабо-

раторных условиях, а содержание вредных веществ (оксида углерода, оксидов азота и серы) определялось с помощью высокоточного газоанализатора типа Testo-350 немецкой фирмы Testoterm. При этом максимальная погрешность измеряемой величины концентрации вредных веществ не превышала  $\pm 5\%$  [7].

В табл. 1 приведены данные по концентрациям оксида углерода (CO) и оксидов азота (NO<sub>x</sub>) в продуктах сгорания коробчатых и шатровых печей при различных вариантах фронтальной компоновки горелок типа ГП-1, ГП-2, ГИК-2 и раздельном сжигании нефтезаводских газов с малыми избытками воздуха ( $\alpha_T = 1,10—1,15$ ).

В табл. 2 показаны концентрации CO и NO<sub>x</sub> в дымовых газах коробчатых многокамерных и шатровых печей при фронтальной компоновке горелок ГП-2 и раздельном сжигании жидкого топлива с избытками воздуха ( $\alpha_T = 1,25—1,30$ ).

Данные по содержанию NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO и углеводородов (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>) в дымовых газах коробчатых и шатровых печей при совместном сжигании нефтезаводских газов и мазута при избытках воздуха ( $\alpha_T = 1,15—1,25$ ) приведены в табл. 3.

Таблица 1

Концентрации оксида углерода и оксидов азота на выходе из печей при сжигании газообразного топлива

Назначение и тип печи, компоновка горелок	Тип горелки	Содержание, мг/м <sup>3</sup>	
		CO	NO <sub>x</sub>
Шатровые и коробчатые печи первичной и вторичной переработки нефти с одноярусной компоновкой горелок	ГП-1	60	180
	ГП-2	40	210
	ГИК-2	30	220
Коробчатые печи каталитического и бензольного риформинга с многоярусной односторонней компоновкой горелок	ГП-1	40	210
	ГП-2	30	215
Коробчатые печи для нагрева нефти, гидроочистки с многоярусной встречной компоновкой горелок	ГП-1	5–10	220
	ГП-2	5–10	210

Таблица 2

Концентрации оксида углерода и оксидов азота в продуктах сгорания при сжигании мазута

Назначение и тип печи	Тип горелки	Содержание, мг/м <sup>3</sup>	
		CO	NO <sub>x</sub>
Коробчатые для гидрокрекинга нефти	ГП-2	700	320
Шатровые для дистилляции нефти	ГП-2	900	280
Шатровые для термокрекинга нефти	ГП-2	800	300

Таблица 3

Содержание вредных веществ в продуктах сгорания при совместном сжигании газа и мазута

Название и тип печи	Тип горелок	Состав топлива, %		$\alpha_T$	Содержание, мг/м <sup>3</sup>			
		газ	мазут		NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>
Коробчатые первичной переработки нефти	ГИК-2	65	35	1,25	225	700	100	0
Шатровые первичной переработки нефти	ГП-2	50	50	1,20	230	1330	500	35
Шатровые для гидрокрекинга	ГП-2	40	60	1,15	300	1560	600	40

### Анализ результатов экологических исследований

При раздельном сжигании мазута с избытками воздуха в топке ( $\alpha = 1,25—1,30$ ) в составе продуктов сгорания имеются значительные концентрации СО порядка 700—900 мг/м<sup>3</sup>. При совместном сжигании жидкого топлива с нефтезаводскими газами концентрация СО в продуктах сгорания меньше, чем при сжигании мазута и зависит от соотношения компонентов в горючей смеси (табл. 3). Дальнейший анализ показал, что при сжигании только нефтезаводских газов с малыми избытками воздуха ( $\alpha = 1,10—1,15$ ) содержание СО в дымовых газах существенно меньше, чем в двух предыдущих случаях и составляет от 5—10 до 60 мг/м<sup>3</sup> (табл. 1).

Во всех случаях сжигания топлива образуются NO<sub>x</sub>, концентрации которых изменяются от 180 до 320 мг/м<sup>3</sup>, причем максимальные значения соответствуют жидкому топливу, а минимальные — нефтезаводским газам. Анализ данных по содержанию оксидов азота в табл. 3 также показывает экологические преимущества совместного сжигания нефтезаводских газов и мазута (в соотношениях 65:35 и 50:50 по тепловыделению) по сравнению с режимом раздельного сжигания жидкого топлива, которые заключаются в снижении выбросов NO<sub>x</sub> на 25—30 %. Повышенные концентрации NO<sub>x</sub> при сжигании только мазута объясняются увеличением топливной составляющей оксидов азота [6, 8].

Очевидно, что с увеличением доли мазута в общем составе газомазутного топлива, сжигаемого в печи, не только возрастают выбросы NO<sub>x</sub>, но и повышается уровень токсичности продуктов сгорания за счет присутствия в дымовых газах SO<sub>2</sub> (табл. 3). В связи с этим вид и качество сжигаемого топлива оказывают заметное влияние на состав и концентрацию выбросов вредных веществ. Что касается выбросов углеводородов (табл. 3), то их концентрация в основном определяется конструкцией горелочного устройства и полнотой горения газомазутного топлива.

Дальнейший анализ данных из табл. 1—3, позволяет рекомендовать переход со сжигания мазута на режим раздельного сжигания нефтезаводских газов, что позволит снизить выбросы всех оксидов вредных веществ.

### Технические решения по сокращению выбросов загрязняющих веществ из нефтезаводских печей

Ниже рекомендованы основные авторские технические разработки, направленные на снижение вредных выбросов в атмосферу из трубчатых печей, эксплуатируемых на НПЗ. Одним из приоритетных направлений в области сокращения концентраций загрязняющих веществ в продуктах сгорания топливосжигающих устройств является дальнейшая модернизация и усовершенствование традиционных методов сжигания газа и мазута с внедрением наилучших доступных технологий их горения [8, 9].

В работах [9, 10] предложен принципиально новый способ сжигания нефтезаводских газов в режиме двухступенчатого горения, который был успешно

апробирован в коробчатой печи каталитического реформинга Хабаровского НПЗ и в котельной Ачинского НПЗ. Отличительной особенностью этого метода сжигания топлива от аналогов является организация подачи в первую зону горения пропан-бутанового нефтезаводского газа, что позволяет сократить на 40—50 % выбросы оксидов азота в атмосферу. Новая малоотходная технология сжигания нефтезаводских газов защищена авторским патентом на изобретение [11].

По мнению автора, перспективным путем в реализации двухступенчатого сжигания топлива на НПЗ является также создание и внедрение новых горелок ступенчатого горения топлива с двухзонным подводом воздуха [12]. Заслуживает внимания техническое решение по управлению работой горелочных устройств в нефтезаводских печах с оснащением их приборами контроля содержания кислорода в процессе сжигания топлива, а также датчиками контроля выбросов вредных веществ (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) в атмосферу, подробно описанное в [5].

Как показали полученные результаты исследований (табл. 1—3), применение действующих горелок типа ГП-2 приводит к повышенным выбросам загрязняющих веществ в атмосферу. В связи с этим актуальной задачей становится модернизация их конструкций с точки зрения повышения экологичности работы, то есть снижения вредных выбросов.

Рассмотрим три варианта новых малотоксичных горелок типа ГП-2, которые защищены авторскими патентами на полезные модели [13—15], сущность которых приведем далее. В патенте [13] признаком, отличающим предлагаемую горелку от стандартной типа ГП-2, является расположение распылительной части форсунки у основания амбразуры. В патенте [14] усовершенствование конструкции горелки сводится к возможности осевого перемещения форсунки относительно амбразуры к ее выходу, а также устройством дополнительного канала с заслонкой для подачи рециркулирующих дымовых газов в амбразуру горелки (рисунок).

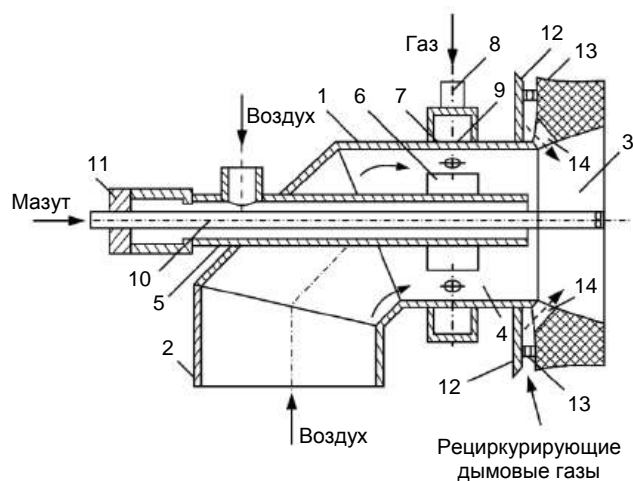


Схема малотоксичной газомазутной горелки типа ГП новой конструкции ДВГУПС:

- 1 — корпус; 2 — патрубок; 3 — амбразура; 4 — смесительная камера; 5 — патрубок в трубе; 6 — вставка; 7 — коллектор; 8 — патрубок; 9 — газораздающие отверстия; 10 — мазутная форсунка; 11 — соединение винт-гайка; 12 — канал; 13 — заслонка; 14 — отверстие у основания амбразуры

На рисунке показаны основные элементы конструкции новой горелки — корпус 1, смесительная камера 4, мазутная форсунка 10, канал 12 для подачи рециркулирующих газов (расположенный у амбразуры 3).

Авторская конструкция газомазутной горелки работает следующим образом. При совместном сжигании газа и мазута в смесительную камеру 4 из патрубка 2 подается воздух в виде кольцевого потока. При достижении потоком воздуха вставки 6 в результате поджата воздуха возрастает скорость его подачи. Одновременно газ по патрубку 8 поступает в коллектор 7 и, распределяясь по газораздающим отверстиям 9, истекает из них в виде поперечных струй в высокоскоростной поток воздуха, при этом происходит интенсивное смешение газа и воздуха. Образующаяся газозоообразная смесь поступает в амбразуру 3 горелки. Одновременно в амбразуру горелки через распылительную часть мазутной форсунки 10 поступает мазут, а через патрубок в трубе 5 подается воздух. За счет осевого перемещения распылительной части форсунки 10 к выходу амбразуры горелки с помощью регулировочного механизма (соединения *винт—гайка* 11, расположенного на трубе 5 и форсунке 10) зона горения, то есть ядро факела, также перемещается в топку печи, в которой теплоотвод от факела существенно выше, чем в самой амбразуре, что обеспечивает снижение выхода оксидов азота на 5—10 %. Для дополнительного снижения выбросов оксидов азота на 15—20 % при совместном сжигании газа и мазута организуется подача рециркулирующих дымовых газов в зону горения топлива через канал 12 с заслонкой 13 и отверстие 14 у основания амбразуры [14].

В патенте [15] признаком, отличающим новую горелку типа ГП от аналогов, является то, что в ней в канале у основания амбразуры дополнительно устанавливается труба с распылителем пара в зону горения жидкого и газообразного топлива. Впрыскиваемый пар снижает максимальную температуру горения и приводит к сокращению выбросов  $\text{NO}_x$  на 10—15 %.

### Заключение

Результаты экологических исследований и их анализ позволили сделать следующие рекомендации и выводы:

Вид сжигаемого топлива (мазут или нефтезаводские газы) в трубчатых печах существенно влияет на концентрации вредных веществ в продуктах сгорания. При сжигании только мазута наблюдаются повышенные концентрации оксида углерода, диоксида серы и оксидов азота. Следует отметить, что при совместном сжигании мазута и нефтезаводских газов концентрации оксида углерода, диоксида серы и оксидов азота в продуктах сгорания зависят от соотно-

шения газа и мазута в составе топлива, при этом рекомендуемое соотношение газа и мазута — 65:35 по тепловыделению.

При раздельном сжигании только нефтезаводских газов концентрации оксида углерода и оксидов азота минимальны, то есть при замене жидкого топлива газообразным сокращаются вредные выбросы всех оксидов и повышается полнота сгорания топлива. Например, на Хабаровском НПЗ при переводе заводской котельной и технологических печей установок с жидкого топлива на нефтезаводские газы было обеспечено снижение выбросов диоксида серы на 4255 тонн в год [2].

Рекомендованы новые технические решения для нефтезаводских печей, в том числе авторские разработки, защищенные патентами на изобретения и полезные модели. Отметим, что внедрение предлагаемых устройств и способов на НПЗ не требует существенных материальных затрат, и новые конструкции горелок типа ГП-2 являются вполне перспективными для замены действующих на заводах топливосжигающих устройств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров А. Н., Катин В. Д. Проектирование высокоэффективных трубчатых печей для НПЗ. — М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. — 88 с.
2. Катин В. Д., Булгаков С. В. Проблемы сокращения вредных выбросов в атмосферу из нефтезаводских печей. — Хабаровск: ТОГУ, 2019. — 192 с.
3. Катин В. Д. Повышение эффективности использования топлива в трубчатых печах НПЗ и охрана окружающей среды. — Хабаровск: РИОТИП, 2004. — 240 с.
4. Шарихин В. В., Ентус Н. Р. Трубчатые печи нефтегазопереработки и нефтехимии. — М.: Сенсоры, 2000. — 392 с.
5. Жидков А. Б. Трубчатые нагревательные печи нефтепереработки и нефтехимии. — СПб.: Артпроект, 2015. — 104 с.
6. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — СПб.: Недра, 1998. — 312 с.
7. Росляков П. В. Контроль вредных выбросов ТЭС в атмосферу. — М.: МЭИ, 2014. — 228 с.
8. Катин В. Д., Бойко В. А. Защита атмосферного воздуха при малоотходных методах сжигания мазута и нефтезаводских газов в котлах и печах. — Владивосток: Дальнаука, 2012. — 190 с.
9. Катин В. Д., Маслов Г. Ф., Долгов Р. В. Новые наилучшие доступные технологии сжигания топлива в печных и котельных установках. — М.: Спутник+, 2019. — 175 с.
10. Катин В. Д., Киселев И. Г. Результаты исследований эколого-технического уровня эксплуатации горелок котельно-печного парка Ачинского НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. 1999. № 2. С. 38—41.
11. Катин В. Д., Пайметов Н. Г., Старовойт А. И. Способ сжигания топлива. Патент № 2288404 РФ МКИ F 23C 99/00. Оpubл. 27.11.2006. Бюл. № 33.
12. Катин В. Д. Модернизация горелочных устройств нефтезаводских трубчатых печей и охрана окружающей среды. — Владивосток: Дальнаука, 2011. — 190 с.
13. Катин В. Д., Березуцкий А. Ю. Газомазутная горелка. Патент № 139470 РФ, МКИ F 23D 17/00. Оpubл. 20.04.2014. Бюл. № 11.
14. Березуцкий А. Ю., Катин В. Д. Газомазутная горелка. Патент № 158820 РФ, МКИ F 23D 17/00. Оpubл. 20.01.2016. Бюл. № 2. — 2 с.
15. Катин В. Д., Нестеров В. И. Газомазутная горелка. Патент № 187171 РФ, МКИ F 23D 17/00. Оpubл. 22.02.2019. Бюл. № 6.



## Results of researches of influence of burning of gas and black oil in petrofactory furnaces on pollution of atmosphere and working out of new technical decisions on decrease in harmful emissions

V. D. KATIN

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia  
Pacific State University, Khabarovsk, Russia

*Results of ecological researches of emissions of harmful substances with smoke gases of tubular petrofactory furnaces are resulted at burning of gaseous and liquid fuel. It is shown, that at separate burning of black oil considerable concentration oxid of carbon and oxides of nitrogen are observed, and at joint burning of liquid fuel and petrofactory gases their maintenance depends on a parity of gas and black oil as a part of burnt fuel. Are recommended for practical application at oil refining factories new technical decisions reducing harmful emissions from petrofactory furnaces, including the author's workings out protected by patents for the inventions. The new design of few toxic torches of type GP-2 in three variants of execution is offered for introduction: with possibility of moving of a black oil atomizer, with the additional channel of giving smoke gases and with the device of a spray of steam entered into a zone of burning of a fire chamber of the furnace.*

**Keywords:** oil refining factories, petrofactory furnaces, gas-black oil torches, burning of the gaseous and liquid fuel, harmful emissions, oxides of nitrogen and sulphur, oxid of carbon, ecological researches, new technical decisions, new few toxic torch GP-2, steam spray.

Bibliography — 15 references.

Received June 20, 2022



# Чрезвычайные ситуации, экологическая оценка и ликвидация их последствий

УДК 504.064.36 + 504.064.47  
DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_28  
EDN: SBUFTJ

## Оценка эффективности опытного образца биопрепарата для ремедиации нефтезагрязненной почвы

<sup>1, 2</sup> Т. С. СМЕРНОВА, канд. техн. наук; <sup>1</sup> И. А. САЗОНОВА; <sup>3</sup> В. А. ЛУЖКОВ

<sup>1</sup> Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГАУ «НИИ «Центр экологической промышленной политики», г. Мытищи, Московская обл., Россия

<sup>3</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ», г. о. Ленинский, п. Развилка, Московская область, Россия

*Приведены результаты исследования опытного образца биопрепарата. Экспериментальные работы проведены совместно с сотрудниками ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в лаборатории биотехнологических исследований. Для закладки эксперимента была использована богатая минералами почва, в которую в качестве загрязнителя вносили сырую нефть. Анализ результатов эксперимента показал высокую эффективность биопрепарата в ремедиации нефтезагрязненной почвы при различных температурных режимах.*

**Ключевые слова:** биопрепарат, углеводородоокисляющие микроорганизмы, ферментативная активность почвы, ремедиация почв, нефтезагрязненные почвы.

Загрязнение окружающей среды вследствие разливов нефти на море и суше является серьезной экологической проблемой не только в Российской Федерации, но и во всем мире.

Загрязнение нефтью происходит во время добычи, хранения и транспортировки нефти на суше и море и наносит большой ущерб почвенным и водным экосистемам [1].

Произошедшая в мае 2020 года авария на ТЭЦ-3, принадлежащей Норильско-Таймырской энергокомпании, в очередной раз показала, насколько катастрофичными могут быть последствия разливов нефти и насколько актуальны вопросы разработки экологически эффективной и быстрой системы ликвидации последствий нефтяных разливов, а также индикаторов для оценки качества проводимых работ.

---

**Смирнова Татьяна Сергеевна**, доцент, старший научный сотрудник.

E-mail: tatsmirnova82@mail.ru

**Сазонова Ирина Александровна**, магистр.

E-mail: irkasazonova@bk.ru

**Лужков Виктор Александрович**, научный сотрудник.

E-mail: v\_luzhkov@vniigaz.gazprom.ru

---

Статья поступила в редакцию 14 июня 2022 г.

© Смирнова Т. С., Сазонова И. А., Лужков В. А., 2022

Все методы ликвидации последствий нефтяных разливов и восстановления качества загрязненных сред — методы ремедиации — можно классифицировать на две основные группы: биологические и небиологические. Биологические методы применяются, в том случае, если содержание загрязнителя в среде ниже порога биотоксичности. При сильном загрязнении проводится последовательная очистка с использованием различных методов, при этом биометоды применяют на конечных этапах процесса ремедиации.

Так, для стимуляции жизнедеятельности аборигенных микроорганизмов применяют следующие биологические приемы:

- биостимуляция, то есть внесение питательных веществ в почву;
- биовентиляция — насыщение почвы кислородом;
- биоэлектроремедиация, при которой через почву пропускают электрический ток для стимуляции роста и развития микроорганизмов в почве;
- внесение в нефтезагрязненную почву биопрепаратов, содержащих штаммы углеводородоокисляющих микроорганизмов (УОМ).

Следует отметить трудности выбора оптимальной стратегии ремедиации арктических почв.

Ерофеевской Л. А. [2] предложен биотехнологический способ очистки почв криолитозоны от нефтезагрязнений. Данное исследование отличается тем, что штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов предварительно выделяют из взятой с места загрязнения пробы почвы, минуя стадию выделения чистой культуры, вносят в мерзлотную почву при определенном соотношении компонентов. Преимуществом использования данного способа является то, что он не требует больших ресурсных и материальных затрат, но при этом достигается высокая эффективность процесса очистки нефтезагрязненной почвы в условиях криолитозоны.

Саксон В. М. [3] предложил новый способ получения биопрепаратов для очистки объектов окружающей среды от нефти и нефтепродуктов. Данный способ характеризуется тем, что он позволяет поддерживать высокую концентрацию углеводородокисляющих микроорганизмов в конечном продукте, что обеспечивает его высокую эффективность и увеличивает срок эксплуатации биопрепарата до трех лет, в то время как срок эффективного применения биопрепаратов-аналогов ограничивается одним годом.

Обзор исследований в области применения биологических препаратов для ремедиации нефтезагрязненных почв показал, что вопросы разработки экологически безопасного и эффективного метода ликвидации последствий нефтяных разливов, а также поиск индикаторов для оценки качества проводимых работ особенно актуальны.

Состав биопрепаратов, представленных на российском рынке, различен. Часть из них включают только один—три штамма микроорганизмов ("Путидойл", "Аллегро", "Торнадо", "Лидер", "Родер" и др.), другие — до 3...15 штаммов ("Экойл", "Олеворин", "Деворойл", "Биоойл", "ВиО", "Универсал", "Биотрин", "Рага-Вас" и др.). Такие биопрепараты, как "Биоойл-СН", "Биоойл-АА", в состав которых входят штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов из родов

*Enterobacter*, *Acinetobacter* и *Bacillus*, применяют в производственных масштабах для ремедиации в условиях Крайнего Севера нефтезагрязненных почв и водных объектов совместно с торфосорбентами и сорбентами на основе графена [4—7].

Опытный биопрепарат, разработанный в лаборатории биотехнологических исследований ООО "Газпром ВНИИГАЗ", включает ассоциации углеводородокисляющих микроорганизмов *Candida sp.* и *Rhodococcus sp.*, выделенных из нефтезагрязненных природных сред.

Внесение биопрепарата в загрязненные грунты приводит к стимулированию процесса биологической деструкции углеводородов нефти с образованием продуктов метаболизма —  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Биопрепарат представляет собой сухой порошок, что позволяет перевозить его на большие расстояния.

### Материалы и методы

Исследование эффективности исследуемого биопрепарата в ремедиации нефтезагрязненных почв проводилось в лабораторных условиях при различных температурах.

Для постановки эксперимента была использована богатая минералами почва, в которую в качестве загрязнителя вносили сырую нефть. Таким образом была смоделирована нефтезагрязненная почва.

Воздушно-сухую почву загрязняли нефтью в количестве 5 % весовых, так как при данной концентрации нефти в почве допустимо внесение в почву биопрепарата в целях восстановления ее свойств. Образцы нефтезагрязненной почвы экспонировались при 7 и 20 °С. При каждом температурном режиме исследовали образец, обработанный биопрепаратом, и контрольный образец почвы (без обработки). Биопрепарат вносили в почву в виде суспензии с расчетом 0,5 % от массы загрязнителя, что соответствует рекомендациям разработчика. Характеристика объектов исследования приведена в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Характеристика биопрепарата

Параметр	Значение
Состав	Штаммы <i>Candida sp.</i> и <i>Rhodococcus sp.</i>
Внешний вид	Сухой порошок
Оптимальный температурный режим	+4...+30 °С
Нормы расхода: — сырая нефть; нефтешламы; мазут — газовый конденсат; дизельное топливо	0,5 % биопрепарата от массы загрязнителя 0,2 % биопрепарата от массы загрязнителя

Таблица 2

Характеристика объектов исследования

Проба*	Описание пробы	Масса почвы, г	Концентрация нефти, %	Масса нефти, г	Объем суспензии биопрепарата, мл
K7 °С	Контрольный образец, экспозиция пробы при 7 °С	190	5	9,5	0
K20 °С	Контрольный образец, экспозиция пробы при 20 °С	190	5	9,5	0
БП7 °С	Проба, обработанная биопрепаратом, экспозиция пробы при 7 °С	190	5	9,5	0,05
БП20 °С	Проба, обработанная биопрепаратом, экспозиция пробы при 20 °С	190	5	9,5	0,05

\* БП — проба, обработанная биопрепаратом; К — контрольная проба.

Исследование проводилось до достижения концентрации нефти в почве ниже допустимых остаточных содержаний нефти в почве (ДОСНП), установленных в региональных нормативных правовых документах [8—11]. Длительность эксперимента составила 2 месяца.

Каждую неделю проводился контроль остаточного содержания углеводородов посредством ФЭК методом анализа гексановой вытяжки по методике ПНДФ 16.1:2.21-98. Процесс восстановления качества почвы контролировался также посредством определения изменения ферментативной активности дегидрогеназы по методу А. Ш. Галстяна и каталазы по методу Ф. Х. Хазиева [12].

### Результаты и выводы

В лабораторных экспериментах была показана эффективность опытного образца биопрепарата. Как видно из рис. 1, при 5 %-м уровне загрязнения почвы нефтью внесение биопрепарата в среднем приводит к увеличению эффективности естественного процесса очищения почвы на 46 и 51 % при 7 и 20 °С соответственно. Следует отметить, что особенно актив-

ное снижение концентрации нефти происходит в первые недели после внесения биопрепарата. Поскольку для нефти и нефтепродуктов в почве в России не установлены единые нормативы ПДК, оценку ремедиационных работ проводили по нормативам ДОСНП для регионов, в которых они определены.

Из рис. 1 видно значительное снижение концентрации нефти в образцах БП7 и БП20 в первые 9 дней по сравнению с исходной величиной, а также значительное повышение эффективности очистки по сравнению с процессами самоочищения почвы, происходящими в контрольных пробах К7 и К20. Незначительное различие в эффективности биопрепарата наблюдается при его работе в различных температурных условиях: в пробах, выдерживаемых при температуре +7 °С, процесс ремедиации замедляется. Образец почвы БП20 был восстановлен до концентраций, соответствующих ДОСНП для всех регионов, в которых они установлены. Образец БП7 по содержанию нефти не соответствует нормативу, установленному для региона НАО (превышение ДОСНП составляет 47 %).

Результаты оценки эффективности процесса биоремедиации посредством применения исследуемого образца биопрепарата приведены в табл. 3.

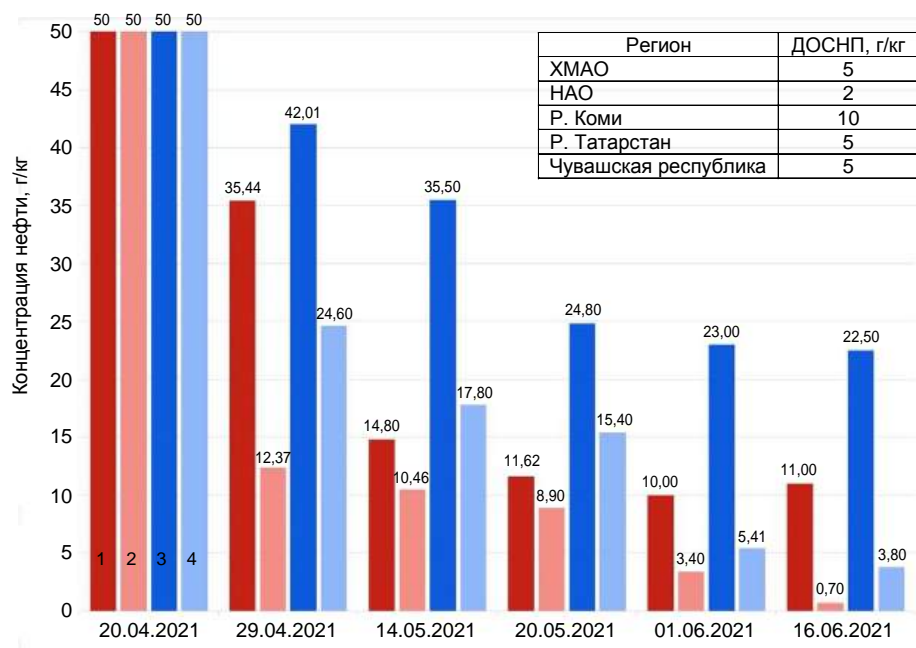


Рис. 1. Результаты исследования эффективности опытного биопрепарата в лабораторных условиях: 1 — К20; 2 — БП20; 3 — К7; 4 — БП7

Таблица 3

Эффективность применения биопрепарата на процесс очищения почвы, %

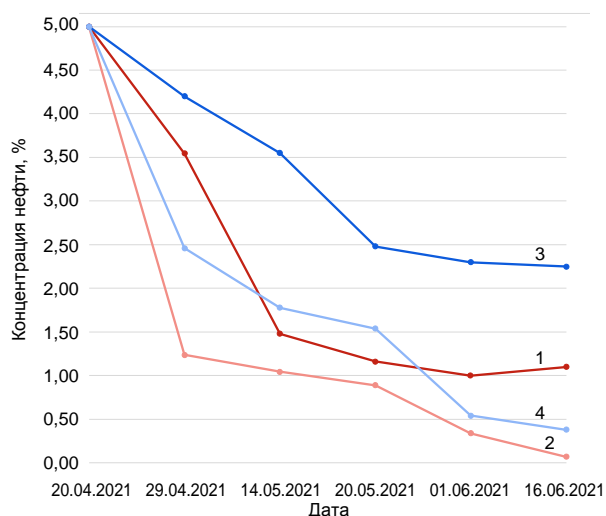
Проба	Временной диапазон				Среднее за период
	20.04—29.04	29.04—14.05	14.05—20.05	20.05—1.06	
БП 20 °С	65,1	29,3	23,4	66,0	46
БП 7 °С	41,4	49,9	37,9	76,5	51

Примечание: повышение эффективности естественного процесса очищения почвы определено по отношению к контрольным величинам при 7 °С и 20 °С соответственно.

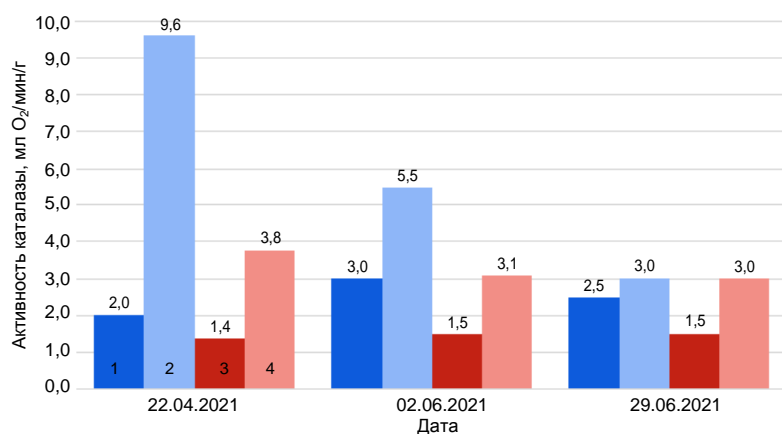
Как видно из табл. 3, при невысоком уровне загрязнения почвы нефтью, внесение биопрепарата в среднем позволяет увеличить эффективность естественного процесса очищения почвы на 46 и 51 % при +20 и +7 °С, соответственно. Особенно значительное стимулирование микроорганизмов происходит в первые 9 дней после внесения биопрепарата.

Эффективность применения опытного биопрепарата для ремедиации почвы подтверждается динамикой снижения концентрации нефти в образцах нефтезагрязненной почвы (рис. 2).

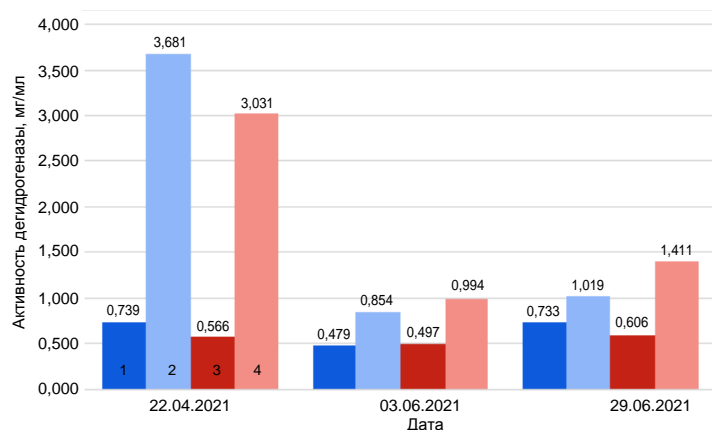
Внесение биопрепарата приводит к более интенсивному снижению концентрации нефти в почве в первую декаду проведения эксперимента.



**Рис. 2. Динамика снижения концентрации нефти в пробах нефтезагрязненной почвы в лабораторных условиях:**  
1 — K20; 2 — БП20; 3 — K7; 4 — БП7



**Рис. 3. Результаты исследования изменения активности фермента каталазы в лабораторных условиях:**  
1 — K7; 2 — БП7; 3 — K20; 4 — БП20



**Рис. 4. Изменение активности фермента дегидрогеназы в лабораторных условиях:**  
1 — K7; 2 — БП7; 3 — K20; 4 — БП20

На рис. 3 и 4 можно отметить выраженное стимулирование активности ферментов каталазы и дегидрогеназы, особенно в первую неделю после начала эксперимента. Далее активность ферментов снижалась в корреляции со снижением концентрации субстрата (нефти) в почве.

Оценка влияния опытного биопрепарата на ферментативную активность нефтезагрязненной почвы в сравнении с контрольными образцами приведена в табл. 4 и 5.

Таблица 4

**Изменение активности фермента каталазы в пробах нефтезагрязненной почвы, обработанной биопрепаратом, по сравнению с контролем, %**

Проба	Временной диапазон			Среднее за период
	22.04	02.06	29.06	
БП20	63	52	50	55
БП7	79	45	17	47

Таблица 5

**Изменение активности фермента дегидрогеназы в пробах нефтезагрязненной почвы, обработанной биопрепаратом, по сравнению с контролем, %**

Проба	Временной диапазон			Среднее за период
	22.04	02.06	29.06	
БП20 — К20	81	50	57	63
БП7 — К7	80	44	28	51

В среднем активность каталазы увеличилась на 47 и 55 % по сравнению с контролем при 7 и 20 °С, соответственно, а активность дегидрогеназы — на 51 и 63 % по сравнению с контролем при 7 и 20 °С, соответственно.

Визуально также были отмечены изменения: при увлажнении почвы образцы БП7 и БП20 стали лучше впитывать воду, что является косвенным свидетельством улучшения влагоемкости почвы.

### Заключение

В процессе исследования была изучена эффективность применения опытного образца биопрепарата, разработанного в ООО "Газпром ВНИИГАЗ", в ремедиации нефтезагрязненных почв.

Оценку эффективности биопрепарата проводили при различных температурах в лабораторных условиях.

На основании полученных результатов исследования проведена оценка эффективности применения биопрепарата в целях ремедиации нефтезагрязненных почв, в том числе по влиянию на ферментативную активность почв.

Полученные результаты исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

- разработанный биопрепарат интенсифицирует процессы разложения нефти в почве; в основе действия биопрепарата лежит его стимулирующее действие на микробиоценоз почвы;

- применение данного биопрепарата увеличивает активность почвенных ферментов каталазы и дегидрогеназы в среднем на 55 и 63 %, соответственно, что благотворно сказывается на скорости и интенсивности процесса биоремедиации нефтезагрязненной почвы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Johnston J. E., Lim E., Roh H. Impact of upstream oil extraction and environmental public health: A review of the evidence // *Sci Total Environ*. 2019. V. 657. P. 187—199.
2. Ерофеевская Л. А. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук". Способ очистки почв криолитозоны от нефтезагрязнений. Патент № 2755687 РФ, МПК C12N 1/26. № 2020134701. Заявл. 21.10.2020. Оpubл. 20.09.2021. Бюл. № 26.
3. Саксон В. М., Бойкова И. В., Новикова И. И., Сологуб А. В. Способ получения биопрепарата для очистки объектов окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами. Патент 2744343 РФ, МПК В 09 С 1/10. № 2020128224. Заявл. 25.08.20. Оpubл. 05.03.21. Бюл. № 7.
4. Алексеев А. Ю., Смородина Е. А., Адаменко Л. С. и др. Подбор ассоциации микроорганизмов-деструкторов нефтяной фракции твердых алканов при низких положительных температурах // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6. С. 240.
5. Адаменко Л. С., Алексеев А. Ю., Забелин В. А. и др. Метод утилизации нефтяных разливов с водной поверхности с применением сорбента на основе мультиграфена и микробного препарата в условиях, приближенных к естественным // *Экологический вестник России*. 2014. № 3. С. 32—34.
6. Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М., Лаптева Е. М. и др. Моделирование технологии "контурного заводнения" в микроскомах // *Почвоведение*. 2020. № 2. С. 219—229.
7. Об утверждении регионального норматива "Допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ханты-Мансийского автономного округа — Югры": постановление правительства Ханты-Мансийского автономного округа — Югры от 10 декабря 2004 г. № 466 п // *Собрание законодательства ХМАО-Югры*. 2004. № 12. Ст. 1892.
8. Об утверждении региональных нормативов допустимого остаточного содержания нефтяных углеводородов и продуктов их трансформации в почвах и в донных отложениях водных объектов на территории Ненецкого автономного округа (с изменениями на 17 августа 2020 года): постановление администрации Ненецкого автономного округа от 15 декабря 2011 г. № 293-п // *Администрация Ненецкого автономного округа*. 2011.
9. О Нормативах допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Республики Коми (с изменениями на 11 марта 2020 года): постановление Правительства Республики Коми от 20 ноября 2007 г. № 268 // *Ведомости нормативных актов органов государственной власти Республики Коми*. 2007. № 12(4). Ст. 5379.
10. Об утверждении региональных нормативов "Допустимое остаточное содержание нефти и продуктов ее трансформации после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ ...": Приказ Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан от 28 октября 2016 г. № 1201-п. — URL: [https://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_777005.pdf](https://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_777005.pdf).
11. Об утверждении нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ в дерново-подзолистых, светло-серых лесных, серых лесных, темно-серых лесных и аллювиальных дерновых почвах для земель сельскохозяйственного назначения, лесного фонда и особо охраняемых территорий, и объектов на территории Чувашской Республики: постановление Кабинета Министров Чувашской Республики от 24.01.2013 г. № 6.
12. Хазиев Ф. Х. Почвенные ферменты. — М.: Знание, 1972. — 32 с.



## Efficiency assessment of biopreparation for the bioremediation of oil-contaminated soil

<sup>1, 2</sup> T. S. SMIRNOVA, <sup>1</sup> I. A. SAZONOVA, <sup>3</sup> V. A. LUZHKOV

<sup>1</sup> Gubkin Russian State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> FSAB "Research Institute "Environmental Industrial Policy Center",  
Mytischki, Moscow region, Russia

<sup>3</sup> LLC "Gazprom VNIIGAZ", Razvilka, Leninsky municip., Moscow region, Russia

*The article presents studies of a prototype of biopreparation. Experimental study was carried out jointly with specialists of Gazprom VNIIGAZ laboratory of biotechnological research. For the experiment, mineral-rich soil was used, into which crude oil was added as a pollutant. An analysis of the experimental results detected the high efficiency of the biological product for the bioremediation of oil-contaminated soil under various temperature conditions.*

**Keywords:** biological product, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, soil enzymatic activity, soil remediation, oil-contaminated soils.

Bibliography — 12 references.

Received June 14, 2022



# Экологический контроль, прогнозирование

УДК 621.22

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_34

EDN: SENMCE

## Аналитический расчет глобального потепления

**В. В. ТЕТЕЛЬМИН**, д-р техн. наук

Общественный совет при Минэнерго РФ, Москва, Россия

*Проведен количественный анализ особенностей накопления атмосферой и климатической системой Земли тепловой энергии антропогенных парниковых газов (ПГ). Получены и рекомендуются к использованию зависимости для определения максимальной температуры глобального потепления и времени достижения климатической системой Земли состояния радиационного баланса как функции содержания в атмосфере антропогенных парниковых газов. Получено значение содержания антропогенных парниковых газов в атмосфере 880 ppm-eq, при котором может произойти "парниковое насыщение" климатической системы Земли. Предложен алгоритм аналитического расчета динамики и пределов глобального потепления при различных сценариях изменения мировых выбросов парниковых газов. Выполнены прогнозные расчеты динамики глобального потепления для двух вероятных сценариев изменения содержания антропогенных парниковых газов в атмосфере после 2020 г.*

**Ключевые слова:** глобальное потепление, парниковые газы, радиационный баланс, тепловая энергия.

Климатическая система Земли в течение последних 150 лет выводится из состояния термодинамического равновесия за счет нарастающих антропогенных выбросов парниковых газов. Современные годовые выбросы мировой экономикой трех основных парниковых газов следующие: диоксида углерода  $\text{CO}_2$  — около 40 млрд т; метана  $\text{CH}_4$  — около 330 млн т; закиси азота  $\text{N}_2\text{O}$  — 8,2 млн т. Зависимость современной цивилизации привела к выбросу в атмосферу более 2-х трлн т  $\text{CO}_2$ , из которых около половины усваивает растительность планеты и Мировой океан (МО), а вторая половина аккумулируется атмосферой. Каждый кВт·ч произведенной человечеством антропогенной энергии инициирует накопление в климатической системе (КС) Земли около 16 кВт·ч парниковой тепловой энергии [1]. Несмотря на принимаемые человечеством защитные действия, к 2020 г. скорость роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере превысила 2 ppm/год, а наблюдаемая аномалия глобального потепления составила примерно 1,2 °C.

Происходящие климатические изменения беспрецедентны как по скорости событий, так и по их глобальному охвату. Каждые 10 лет в мире происходит потепление на 0,18 °C, в России — на 0,45 °C, а в Арктической зоне — на 0,75 °C. Парижское соглашение является международным документом, нацеленным на борьбу с глобальным потеплением, допускающим повышение средней глобальной температуры к 2050 г., не более чем на 2 °C по сравнению с доиндустриальным уровнем.

Автором была поставлена задача получить аналитическое решение, позволяющее рассчитывать темп и пределы глобального потепления при любом сценарии антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу. Искомое решение получено на основе анализа следующих натурных данных:

- кривая роста средней глобальной температуры атмосферы, заметный рост которой начался с 1910 г. и с некоторыми остановками продолжается до настоящего времени [2];
- кривая роста парниковой тепловой энергии [3—5], накопленной климатической системой Земли в период с 1970 по 2010 г.;
- ход изменения глобальной температуры и концентрации  $\text{CO}_2$  в палеоатмосфере Земли в последний ледниковый период [6—8].

**Тетельмин Владимир Владимирович**, профессор.  
E-mail: v-tetelmin@rambler.ru

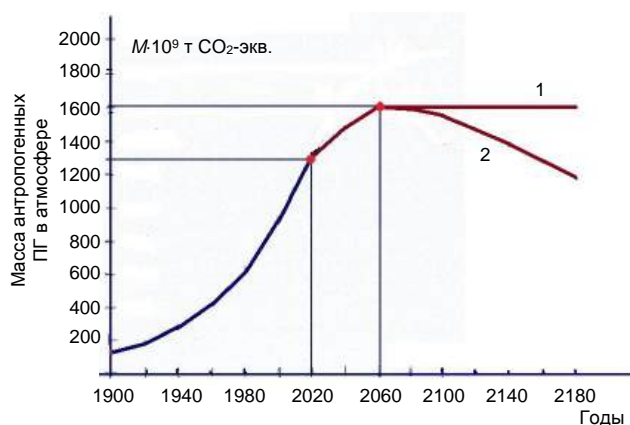
Статья поступила в редакцию 14 мая 2022 г.

© Тетельмин В. В., 2022

При разработке алгоритма аналитического расчета динамики глобального потепления предварительно получены решения ряда следующих частных задач: получены функции максимальной (радиационно-равновесной) температуры нагревания атмосферы в зависимости от содержания в ней антропогенных парниковых газов [9]; получены эмпирические значения показателя, определяющего количество тепловой энергии, которую ежегодно передает МО одна тонна парниковых газов [10].

В дальнейшем содержание ПГ в атмосфере приводится в единицах, приведенных к эквиваленту  $\text{CO}_2$ : к эквиваленту массы (т-eq) и к эквиваленту объемного содержания (ppm-eq). При этом использовались следующие значения потенциала глобального потепления (GWP): 28 для метана  $\text{CH}_4$  и 260 для закиси азота  $\text{N}_2\text{O}$ .

На рис. 1 приведен рассчитанный и построенный с использованием различных источников [2, 11–14] график изменения содержания антропогенных ПГ в атмосфере с 1900 по 2020 гг. После 2020 г. расчет глобальных выбросов выполнен с учетом их сокращения в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения, а также с учетом "старения" и ухода из атмосферы половины содержания диоксида углерода  $\text{CO}_2$  и всей массы закиси азота  $\text{N}_2\text{O}$  при достижении ими возраста 120 лет [15]. При этом принято, что к 2100 г. совокупная масса антропогенного метана и закиси азота в атмосфере увеличится до  $468 \cdot 10^9$  т-eq. В будущем эта цифра может увеличиться по причине происходящего потепления климата и усиления эффектов положительной обратной связи, например, за счет увеличения выбросов метана из-за активизации биохимических процессов в умеренных широтах и деградации вечномёрзлых грунтов и газогидратов Арктической криолитозоны.



**Рис. 1. Изменение содержания антропогенных ПГ в атмосфере с учетом сокращения глобальных выбросов в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения, а также с учетом "старения" и ухода из атмосферы половины содержания  $\text{CO}_2$  и всей массы  $\text{N}_2\text{O}$  при достижении возраста 120 лет:**  
1 — содержание ПГ после 2060 г. остается постоянным;  
2 — содержание ПГ после 2060 г. уменьшается за счет ухода "старейших" ПГ

Сила воздействия единицы массы ПГ на глобальное потепление зависит от их концентрации в атмосфере. При этом спектры поглощения отдельных ПГ частично пересекаются, поэтому поглощение отра-

женного земной поверхностью ИК-излучения смесью ПГ не обладает свойством аддитивности. По мере насыщения атмосферы парниковыми газами радиационная эффективность единицы их содержания в атмосфере снижается [16, 17]. Поступающая в атмосферу дополнительная масса ПГ поглощает только ту часть ИК-излучения, которая не была поглощена уже присутствующим в атмосфере этим газом. Например, добавление новых порций  $\text{CO}_2$  оказывает меньшее воздействие на потепление, потому что им приходится конкурировать с ранее поступившим в атмосферу этим газом за излучение в диапазонах длин волн 4,0–4,4 мкм и 14–19 мкм.

Каждому содержанию ПГ в атмосфере соответствует своя предельная температура глобального потепления, соответствующая радиационно-равновесному состоянию климатической системы (КС) Земли. В работе [9] приводится вывод аналитической зависимости максимальной радиационно-равновесной температуры  $T_{\max}$  как функции содержания в атмосфере антропогенных ПГ. Эта зависимость получена с использованием свойства тесной корреляции между глобальной квазистационарной температурой и концентрацией ПГ в доиндустриальной атмосфере и палеоатмосфере Земли [6–8].

При современных параметрах орбиты Земли и значении солнечной постоянной  $S = 1368 \text{ Вт/м}^2$  температура максимального глобального потепления, вызванная действием трех основных антропогенных парниковых газов (ПГ), определяется следующим выражением [9]:

$$T_{\max} = (29,8 \cdot 10^{-3} \cdot K - 11,9 \cdot 10^{-6} \cdot K^2 - 9,4), \text{ град.} \quad (1)$$

где  $K$  (ppm-eq) =  $(370 + K_A)$  — общая объемная концентрация присутствующих в атмосфере трех основных парниковых газов;

$K_A$  — объемная концентрация (ppm-eq) антропогенных ПГ в атмосфере;

9,4 °C — радиационно-равновесная температура атмосферы в доиндустриальную эпоху при объемной концентрации трех основных ПГ 370 ppm-eq.

Эта же температура может быть определена как функция общей массы трех основных ПГ в атмосфере [9]:

$$T_{\max} = (3,8 \cdot 10^{-12} \cdot M - 0,2 \cdot 10^{-24} \cdot M^2 - 9,4) \text{ град.} \quad (2)$$

где  $M$  (т-eq) =  $(2,9 \cdot 10^{12} + M_A)$  — общая масса присутствующих в атмосфере трех основных парниковых газов;

$M_A$  — масса (т-eq) антропогенных ПГ в атмосфере;

9,4 °C — радиационно-равновесная температура атмосферы в доиндустриальную эпоху при содержании в атмосфере массы ПГ  $2,9 \cdot 10^{12}$  т-eq.

Максимальная радиационно-равновесная температура, к которой через продолжительное время приходит земная атмосфера, определяется нелинейным уравнением параболического типа (рис. 2). Исследуя функции (1) и (2) на экстремум, получаем значения

содержания антропогенных ПГ, при которых наступает "парниковое насыщение" атмосферы:  $K_{\text{НАС}} = 880$  ppm-eq и  $M_{\text{НАС}} = 6,8 \cdot 10^{12}$  т-eq. Этим значениям содержания ПГ в атмосфере соответствует максимальная радиационно-равновесная температура (максимальная температура глобального потепления) от действия трех антропогенных парниковых газов  $T_{\text{НАС}} = 9,2$  °C. Это максимально возможный вклад трех основных антропогенных ПГ в глобальное потепление. На рис. 2 приводится график зависимости максимального глобального потепления от содержания в атмосфере антропогенных ПГ. При увеличении концентрации  $K_A > 880$  ppm-eq или массы накопленных в атмосфере антропогенных выбросов  $M_A > 6,8 \cdot 10^{12}$  т-eq атмосфера потеряет "парниковую чувствительность" и перестанет откликаться повышением температуры на дальнейшие выбросы ПГ.

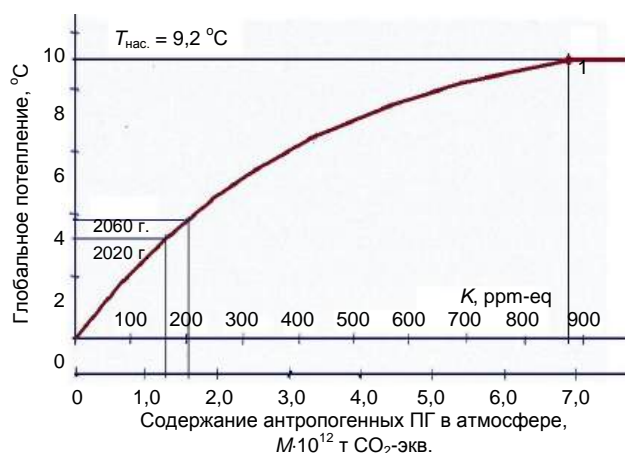


Рис. 2. График зависимости радиационно-равновесной температуры атмосферы (максимального глобального потепления) от содержания антропогенных ПГ

Значительная часть парниковой тепловой энергии передается КС нерадиационным путем за счет переноса тепла горизонтальными турбулентными потоками и контактного теплообмена атмосферы с поверхностью МО. Примерно  $78 \text{ Вт/м}^2$  мощности лучистой энергии поступающей от Солнца, поглощается атмосферой, а  $161 \text{ Вт/м}^2$  — земной поверхностью. Около 84 % переизлучаемой Землей тепловой энергии ПГ возвращают земной поверхности [18]. Тепловая энергия ПГ накапливается в КС примерно в таком соотношении: 94 % приходится на Мировой океан, 4,5 % на сушу и 1,0—1,5 % на атмосферу.

С использованием накопленных мировой наукой натуральных данных о термодинамических особенностях

глобального потепления [2—5] построена кривая роста парниковой тепловой энергии, накопленной климатической системой (КС) Земли в период с 1950 по 2020 гг. (рис. 3), а также выполнены расчеты и получены основные закономерности изменения параметров процесса глобального потепления [10]. К 2020 г. климатическая система Земли аккумулировала около  $140 \cdot 10^{15}$  кВт·ч парниковой тепловой энергии, из которой порядка 94 % приходится на Мировой океан. В табл. 1 приведены натурные и расчетные показатели основных термодинамических процессов в КС Земли в период 1950—2020 гг.

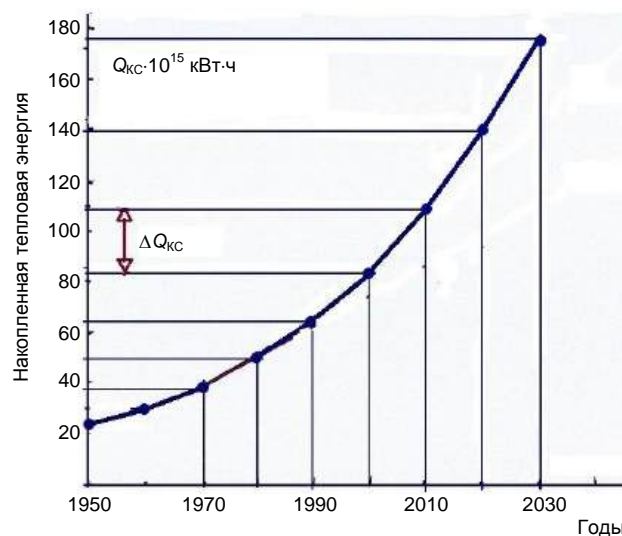


Рис. 3. Кривая роста парниковой тепловой энергии, накопленной КС Земли в период с 1950 по 2020 г. [10]

Из рис. 3 и данных табл. 1 следует, что течением времени и с увеличением содержания ПГ в атмосфере КС в каждом 10-летнем периоде получает всё большее количество парниковой тепловой энергии. Расчеты, в частности, показывают, что в период 1990—2000 гг. КС Земли принимала отраженную радиацию парниковых газов (ПГ) с интенсивностью  $0,46 \text{ Вт/м}^2$ , а после 2010 г. принимаемая КС мощность отраженной радиации возросла до  $0,7 \text{ Вт/м}^2$  [10]. При этом доля  $N$  остающейся в атмосфере тепловой энергии в каждом последующем расчетном периоде уменьшается (табл. 1).

По данным табл. 1 построен график роста темпа накопления тепловой энергии климатической системой Земли как функция содержания в атмосфере антропогенных ПГ (рис. 4).

Таблица 1

Натурные и расчетные показатели основных термодинамических процессов в КС Земли в период 1950—2020 гг.

Годы	Увеличение содержания тепла в КС, $\Delta Q_{\text{КС}} \cdot 10^{15}$ кВт·ч	$\Delta T$ , град.	Увеличение содержания тепла в атмосфере, $\Delta Q_{\text{АТ}} \cdot 10^{15}$ кВт·ч	Доля тепла, остающегося в атмосфере, $N = \Delta Q_{\text{АТ}} / \Delta Q_{\text{КС}}$ , %	Средняя масса антропогенных парниковых газов в атмосфере, $M_A \cdot 10^9$ т-eq
1950—1960	6,7	0,110	0,178	2,44	385
1960—1970	8,5	0,140	0,207	2,43	465
1970—1980	10,8	0,160	0,237	2,20	558
1980—1990	14,9	0,165	0,244	1,69	690
1990—2000	18,9	0,170	0,252	1,33	838
2000—2010	28,4	0,180	0,267	0,94	990
2010—2020	34,0	0,190	0,282	0,84	1164

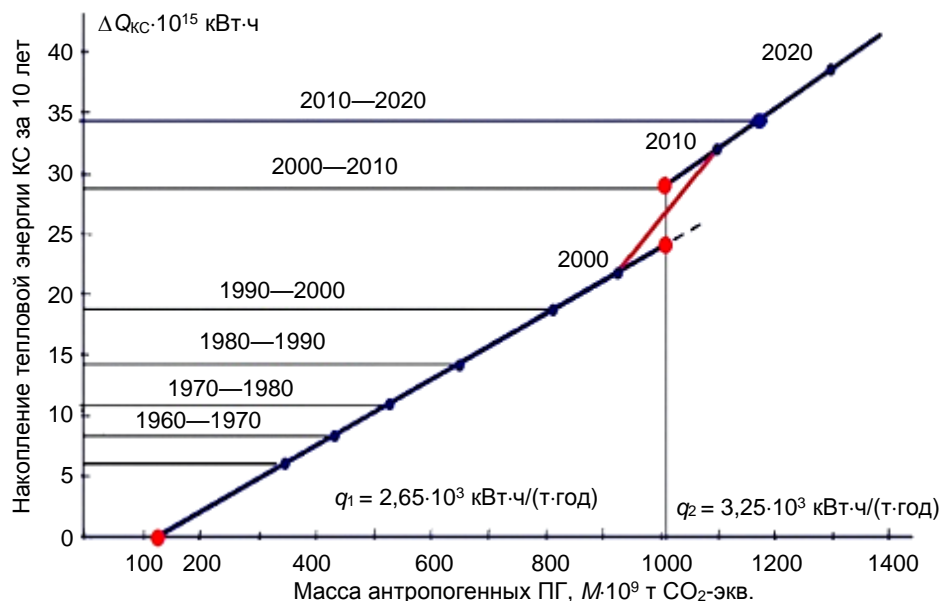


Рис. 4. Зависимость темпа накопления тепловой энергии климатической системой Земли от массы содержащихся в атмосфере антропогенных парниковых газов

Этот график представляет собой результат инструментально измеренного воздействия на КС всех энергетических потоков на Земле, существовавших в период 1950—2020 гг., включая действие положительных и отрицательных обратных связей.

Все полученные до 2000 г. (до содержания  $M_A = 10^{12}$  т-eq) экспериментальные точки ложатся на одну прямую с тангенсом угла наклона  $q = 2,65 \cdot 10^3$  кВт·ч/т-eq-год. Эта величина представляет собой реальное количество полученной КС в течение года тепловой энергии от одной тонны ПГ. Из графика следует, что величина  $q$  определяется следующим отношением:

$$q = \frac{\Delta Q_{КС}}{(M_A - 125 \cdot 10^9) \Delta t} \text{ кВт·ч/(год·т-eq)}, \quad (3)$$

где  $\Delta Q_{КС}$  (кВт·ч) — количество тепловой энергии, накопленной КС Земли за рассматриваемый период времени  $\Delta t = 10$  лет;

$M_A$  (т-eq) — среднее значение массы накопленных антропогенных ПГ, содержащихся в атмосфере в рассматриваемом периоде времени  $\Delta t$ .

Физический смысл показателя  $q$  заключается в том, что он является тепловой энергией, передаваемой КС одной тонной ПГ в течение одного года. Этот показатель аналогичен коэффициенту теплопередачи в теории теплопроводности и определяет реальную интенсивность передачи захваченной парниковыми газами тепловой энергии климатической системе с учетом всех сопровождающих энергетических процессов на Земле. Этот показатель характеризует баланс "теплопроизводящих" свойства ПГ, "теплопередающих" свойств атмосферы и одновременно с этим "теплопринимающих" свойств Мирового океана и суши. По данным натурных наблюдений (рис. 3) в период 1950—2000 гг. каждая тонна ПГ пе-

редавала МО в единицу времени постоянную величину тепловой энергии  $q = 2,65 \cdot 10^3$  кВт·ч/(год·т-eq).

В 2000—2010 гг. линейный график рис. 4 претерпел излом, свидетельствующий об усилении интенсивности нагревания МО парниковыми газами. В этот период произошло резкое увеличение накопленной климатической системой тепловой энергии на величину  $28,4 \cdot 10^{15}$  кВт·ч и соответствующее увеличение показателя передачи парникового тепла до значения  $q = 3,25 \cdot 10^3$  кВт·ч/(год·т-eq).

Резкое увеличение показателя  $q$  может быть объяснено переходом процесса теплового взаимодействия в системе "Атмосфера—Мировой океан" в новое качество. Это предположение подтверждается ростом синоптической частоты экстремальной морской жары в океанских бассейнах, которая также как и глобальная температура начала расти с 1910 г. [19]. С началом роста глобального потепления постоянно увеличивалась доля площади МО с наблюдаемыми волнами экстремальной морской жары. С 1998 г. волны жары стали нормой для Южной Атлантики, с 2007 г. — для Индийского океана, а в 2019 г. волны жары наблюдались на 57 % поверхности МО [20]. Глобальное потепление увеличивает площадь МО с поверхностной температурой 27 °C, что увеличивает количество термических депрессий и зон пониженного давления, которые необходимы для возникновения мощных тропических циклонов. Теплая вода действует как мощный аккумулятор, из которого ураганы могут черпать энергию.

К 2000 г. частота спровоцированных глобальным потеплением тропических циклонов, как крупномасштабной разновидности горизонтальной конвекции в атмосфере, возросла до 110—120 в год и стабилизировалась на этом уровне [1, 17, 21—23]. Можно предположить, что к 2000 г. пространственно-временной ресурс планеты по ежегодному формированию более чем 120 мощных спровоцированных глобальным потеплением метеорологических событий (СМ-событий) исчерпан (рис. 5).



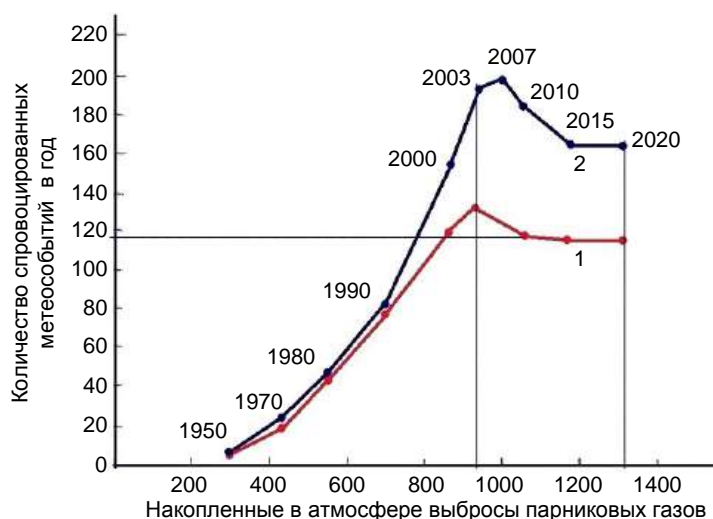


Рис. 5. Изменение во времени частоты возникновения:

1 — частоты возникновения спровоцированных метеорологических событий; 2 — гидрологических стихийных бедствий [15]

После 2000 г. климатическая система Земли не расходует времени и энергии на формирование дополнительных сверх 120 СМ-событий в год, а отдает накопленную в тропиках избыточную парниковую энергию уже действующим циклонам, которые при периодичности появления 3 суток и средней продолжительности жизни более 6 суток постоянно присутствуют на Земле.

Можно также предположить, что в процессе дальнейшего глобального потепления энергия спровоцированных глобальным потеплением циклонов будет возрастать за счет скорости ветра и продолжительности жизненного цикла этих СМ-событий. По мере дальнейшего роста накопленной в КС тепловой энергии отдельные долгоживущие тропические и внетропические циклоны могут плавно переходить один в другой и формировать постоянно действующие циклоны, как это наблюдается, например, на горячей Венере.

Постоянное значение удельной интенсивности теплопередачи  $q = 3,25 \cdot 10^3$  кВт·ч/(год·т-eq) после 2010 г. позволяет рассчитывать количество парниковой тепловой энергии, накопленной климатической системой Земли в будущем за расчетный шаг по времени  $\Delta t$ :

$$\Delta Q_{\text{КС}} = q (M_A - 125 \cdot 110^9) \Delta t \quad (\text{кВт} \cdot \text{ч}), \quad (4)$$

где  $M_A$  (т-eq) — среднее значение содержания массы антропогенных ПГ в атмосфере на протяжении расчетного шага по времени  $\Delta t$ .

Натурные данные табл. 1 свидетельствуют о важной особенности процесса теплообмена атмосферы с Мировым океаном — об уменьшении доли  $N$  тепловой энергии, которая остается в атмосфере в каждом последующем 10-летнем акте теплообмена. Это происходит за счет того, что с повышением глобальной температуры усиливается горизонтальный конвективный теплоперенос, улучшаются транзитные свойства атмосферы по переносу полученной в тропическом поясе парниковой тепловой энергии в высокие широты. Кроме того, с повышением средней глобальной температуры увеличивается температурный

градиент между атмосферой и водной поверхностью МО, что увеличивает кондуктивную составляющую передачи тепла в месте их контакта.

С 1960 по 2010 гг. наблюдаемая доля  $N$  в 10-летних актах теплообмена между атмосферой и МО уменьшилась от 2,43 до 0,94 %. Из наблюдаемой закономерности следует, что в последующих после 2010 г. отдельных актах теплообмена между атмосферой и МО значение доли  $N$  будет уменьшаться. По мере дальнейшего роста глобального потепления и приближения температуры атмосферы к радиационно-равновесному значению  $T_{\text{max}}$  доля  $N$  будет пошагово уменьшаться от известного начального значения  $N_0 = 0,94$  % вплоть до нулевого значения.

Атмосфера (АТ) ввиду большой подвижности и малой теплоемкости основную часть парниковой тепловой энергии  $\Delta Q_{\text{КС}}$  передает МО, оставляя себе незначительную часть  $N$ . В таком случае из (4) следует выражение для определения количества тепловой энергии, которое получает атмосфера на каждом расчетном шаге по времени  $\Delta t$ :

$$\Delta Q_{\text{АТ}} = N \Delta Q_{\text{КС}} = N q (M_A - 125 \cdot 10^9 m) \Delta t \quad \text{кВт} \cdot \text{ч}. \quad (5)$$

Расчет глобального потепления выполняется с использованием метода последовательной смены стационарных состояний с шагом по времени  $\Delta t = 10$  лет.

Атмосфера, получив за время  $\Delta t$  тепловую энергию (5), увеличит свою температуру на величину:

$$\Delta T_i = N_i q (M_A - 125 \cdot 10^9 m) \Delta t / m \cdot c_p, \quad \text{град}, \quad (6)$$

где  $M_A$  (т-eq) — среднее значение содержания массы антропогенных ПГ в атмосфере в пределах расчетного шага по времени  $\Delta t$ ;  
 $m = 5,18 \cdot 10^{15}$  т — масса атмосферы;  
 $c_p = 0,286$  кВт·ч/(т·град) — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении.



В результате исходная температура атмосферы  $T_i$  увеличится на величину полученного приращения  $\Delta T_i$ :

$$T_{i+1} = T_i + \Delta T_i. \quad (7)$$

При прогнозных расчетах глобального потепления задаются известными начальными (стартовыми) параметрами состояния атмосферы: объемная концентрация  $K_0$  ppm-eq или масса  $M_0$  т-eq содержащихся в атмосфере антропогенных парниковых газов, температура глобального потепления от действия антропогенных парниковых газов  $T_0$ , доля (%) остающейся в атмосфере на первом шаге расчета парниковой тепловой энергии  $N_0$ .

Было уже отмечено, что по мере приближения температуры атмосферы в течение времени  $t_{\max}$  к радиационно-равновесному значению  $T_{\max}$  доля  $N$  будет пошагово и линейно уменьшаться от известного начального значения  $N_0$  до нулевого значения. В таком случае за время  $t_{\max}$  в течение всего процесса выхода КС к равновесному состоянию среднее значение доли остающегося в атмосфере тепла равно  $N = 0,5N_0$ .

Если масса ПГ в атмосфере остается постоянной в течение всего расчетного периода  $t_{\max}$  вплоть до достижения радиационно-равновесного состояния, то выражение (5) запишется следующим образом:

$$Q_{AT} = 0,5N_0 q (M_A - 125 \cdot 10^9 m) t_{\max}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}. \quad (8)$$

При известном значении начальной температуры глобального потепления атмосферы  $T_0$  количество парниковой тепловой энергии, которую получит атмосфера по достижении радиационно-равновесной температуры  $T_{\max}$  определяется следующим выражением:

$$Q_{AT} = (T_{\max} - T_0) m c_p (\text{кВт} \cdot \text{ч}). \quad (9)$$

Приравняв (8) и (9), получим зависимость, определяющую продолжительность перехода КС к состоянию радиационного баланса как функцию содержащейся в атмосфере массы антропогенных ПГ:

$$t_{\max} = \frac{10^2 (T_{\max} - T_0) m c_p}{0,5N_0 q (M_A - 125 \cdot 10^9)} \text{ (годы)}, \quad (10)$$

где  $q = 3,25 \cdot 10^3$  кВт·ч/т-eq·год;

$N_0$  — доля (%) тепловой энергии, получаемой атмосферой в первом расчетном 10-летнем шаге;

$M_A$  — масса (т-eq) антропогенных ПГ в атмосфере.

Выражение (10) определяет продолжительность выхода земной атмосферы на радиационно-равновесную температуру как функцию приведенной массы антропогенных ПГ в атмосфере. Это же значение продолжительности может быть определено как функция объемной концентрации антропогенных ПГ в атмосфере:

$$t_{\max} = \frac{10^2 (T_{\max} - T_0) m c_p}{0,5N_0 q (K_A - 16)} \text{ (годы)}, \quad (11)$$

где  $q = 26 \cdot 10^{12}$  кВт·ч/ppm-eq·год;

$K_A$  — объемная концентрация (ppm-eq) антропогенных ПГ в атмосфере.

В каждом последующем акте передачи парниковой тепловой энергии Мировому океану и климатической системе в целом в атмосфере от количества тепла  $\Delta Q_{КС}$  остаётся всё меньшая доля тепловой энергии. Зная продолжительность  $t_{\max}$  процесса выхода КС на радиационно-равновесный режим теплообмена, легко определить значение доли  $\Delta N_i$ , на которую уменьшается  $N_i$  при переходе к каждому следующему расчетному шагу теплообмена с шагом по времени  $\Delta t = 10$  лет:  $\Delta N_i = 10N_i / t_{\max(i)}$ . На каждом последующем шаге расчета доля  $N_i$  остающейся в атмосфере тепловой энергии  $\Delta Q_{AT}$  будет уменьшаться в соответствии со следующим выражением:

$$N_{i+1} = N_i - 10N_i / t_{\max(i)}. \quad (12)$$

Расчет темпа глобального потепления выполняется с использованием метода последовательной смены стационарных состояний с шагом по времени 10 лет. Последовательность действий на первом шаге расчета такова.

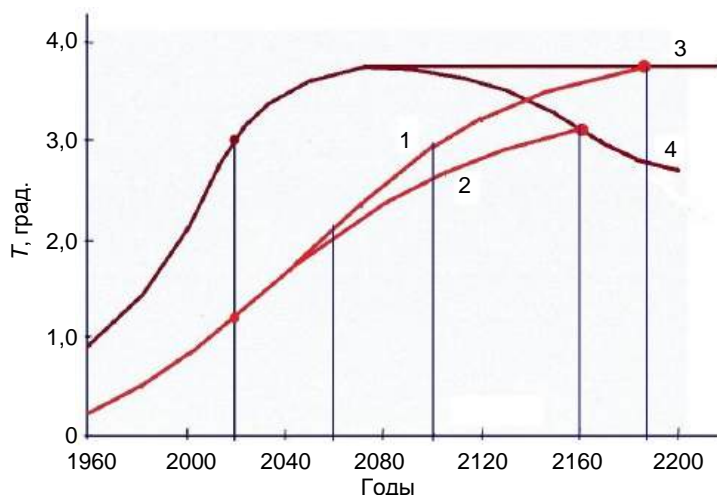
1. Определяется  $T_{\max}$  (2);
2. Определяется  $t_{\max}$  (10);
3. Определяется  $\Delta T_1$  (6);
4. Определяется  $T_2$  (7);
5. Определяется  $N_2$  (12).

Далее в такой же последовательности выполняются все последующие шаги расчета. Расчет ведется до тех пор, пока кривая роста средней глобальной температуры  $T$  атмосферы не пересечется с кривой изменения во времени предельной радиационно-равновесной температуры  $T_{\max}$  (рис. 6).

Рассчитаем два конкретных случая темпа глобального потепления для двух случаев изменения содержания ПГ в атмосфере, приведенных на рис. 1. Начальные условия следующие: в период 2010—2020 г. среднее содержание антропогенных ПГ в атмосфере составляло  $M_0 = 1,036 \cdot 10^{12}$  т-экв. ( $K_0 = 131$  ppm-eq). Глобальное потепление составляло  $T_0 = 1,16$  °С. Доля остающегося в атмосфере тепла (табл. 1) на первом шаге расчета  $N_0 = 0,92$ .

В первом случае расчет выполнен (табл. 2) для сценария сокращения глобальных выбросов ПГ в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения, когда содержание антропогенных ПГ к 2050 г. увеличится до  $M_A = 1,6 \cdot 10^{12}$  т-eq ( $K_A = 202$  ppm-eq), после чего содержание ПГ в атмосфере остается постоянным (график 1 рис. 1).

На рис. 6 этому случаю соответствует кривая 1 роста температуры. Точка пересечения кривой 1 с графиком хода радиационно-равновесной температуры 3 характеризует выход КС к состоянию радиационного баланса и стабилизации температуры атмосферы на уровне  $T_{\max} = 3,7$  °С. Это событие произойдет примерно в районе 2190 г. Во втором случае расчет выполнен при сценарии сокращения содержания ПГ после 2060 г. за счет "старения" и ухода из атмосферы половины  $\text{CO}_2$  и всего  $\text{N}_2\text{O}$  при достижении ими возраста 120 лет.



**Рис. 6. Расчетные кривые глобального потепления после 2020 г.:**

1 — рост температуры атмосферы при постоянном содержании ( $M = 1,6 \cdot 10^{12}$  т-экв.) ПГ после 2060 г.;  
2 — рост температуры при снижении содержания ПГ после 2060 г. за счет их "старения"; 3 — график изменения радиационно-равновесной температуры при постоянном содержании ПГ в атмосфере после 2060 г.; 4 — график изменения радиационно-равновесной температуры, соответствующий снижению содержания ПГ за счет их "старения" и ухода из атмосферы

Таблица 2

**Результаты расчета глобального потепления при сценарии сокращения выбросов парниковых газов в соответствии с рекомендациями Парижского соглашения и постоянном содержании ПГ в атмосфере после 2060 г.**

Годы	Масса ПГ, $M_A \cdot 10^{12}$ т-экв	$T_{\max}$ , °C	$\Delta T_i$ , °C	$T_{i+1}$ , °C	$N_{i+1}$ , %
2010—2020	1,036	2,46	0,184	1,16	0,92
2020—2030	1,242	2,90	0,205	1,37	0,86
2030—2040	1,421	3,30	0,242	1,61	0,79
2040—2050	1,552	3,57	0,248	1,86	0,74
2050—2060	1,600	3,67	0,238	2,10	0,68
2060—2070	1,600	3,67	0,220	2,33	0,63
2070—2080	1,600	3,67	0,203	2,53	0,58
2080—2090	1,600	3,67	0,187	2,72	0,53
2090—2100	1,600	3,67	0,171	2,89	0,48
2100—2110	1,600	3,67	0,155	3,04	0,43
2110—2120	1,600	3,67	0,139	3,19	0,38
2120—2130	1,600	3,67	0,123	3,31	0,33
2130—2140	1,600	3,67	0,107	3,42	0,28
2140—2150	1,600	3,67	0,090	3,51	0,23
2150—2160	1,600	3,67	0,074	3,58	0,18
2160—2170	1,600	3,67	0,060	3,64	0,13

На рис. 6 этому случаю соответствует кривая 2 роста температуры атмосферы. Точка пересечения кривой 2 с графиком радиационно-равновесной температуры 4 характеризует выход КС к состоянию радиационного баланса и стабилизации температуры атмосферы на уровне  $T_{\max} = 3,1$  °C. Это событие произойдет в районе 2160 г.

После этого средняя глобальная температура атмосферы будет уменьшаться в соответствии с графиком 4 изменения радиационно-равновесной температуры.

### Выводы

После 2010 г. климатическая система Земли принимает тепловую энергию антропогенных парниковых газов с интенсивностью  $q = 3,25 \cdot 10^3$  кВт·ч/(т-экв·год) ( $26 \cdot 10^{12}$  кВт·ч/ррт-экв·год), что обеспечивает мощность поглощения климатической системой 0,70 Вт/м<sup>2</sup> отраженной радиации ПГ.

Зависимость радиационно-равновесной температуры атмосферы от содержания в ней антропогенных парниковых газов определяется нелинейными функциями (1) и (2).

Продолжительность достижения КС Земли состоянием радиационного баланса и соответствующей радиационно-равновесной температуры атмосферы определяется функциями (10) и (11).

Поочередное использование выражений (2), (10), (6), (7), (12) позволяет методом последовательной смены стационарных состояний рассчитывать динамику роста глобального потепления в будущем при любом сценарии изменения выбросов ПГ.

Состояние "парникового насыщения" КС антропогенными парниковыми газами наступит при их массовом содержании в атмосфере  $M_A = 6,86 \cdot 10^{12}$  т-экв ( $K_A = 880$  ррт-экв). Соответствующая этому состоянию максимальная возможная температура глобального потепления равна 9,2 °C.

При условии выполнения рекомендаций Парижского соглашения содержание антропогенных ПГ в атмосфере к 2050 г. может составить  $M_A = 1,6 \cdot 10^{12}$  т-экв ( $K_A = 204$  ррт-экв). Если принять, что в дальнейшем содержание ПГ в атмосфере:

— не изменится, то к 2100 г. глобальное потепление составит около 3 °C, а состояние радиационного баланса климатической системы наступит в районе 2190 г. при достижении атмосферой радиационно-равновесной температуры 3,7 °C;

– будет уменьшаться за счет "старения" и постепенного ухода антропогенных парниковых газов из атмосферы, то к 2100 г. глобальное потепление составит 2,6 °C, а состояние радиационного баланса наступит к 2160 г. при достижении атмосферой радиационно-равновесной температуры 3,1 °C. После этого события средняя глобальная температура атмосферы будет уменьшаться в соответствии с уменьшением радиационно-равновесной температуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тетельмин В. В. Современная энерго-климатическая история цивилизации // Гидротехника. 2021. № 3. С. 42–46.
2. Стоккер Т. Ф. и др. МГЭИК. Резюме для политиков. Изменение климата. 2013 г.: Физические и научные основы. Вклад рабочей группы I в пятый доклад об оценке МГЭИК. — Кембридж Университи Пресс. Кембридж, Соединенное Королевство и Нью-Йорк, США.
3. Митрова Т., Хохлов А., Мельников Ю. Пердеро А., Мельникова М., Залюбовский Е. Глобальная климатическая угроза и экономика России в поисках особого пути. — М., 2020. Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://energy.skolkovo.ru/downloads/dokuments/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_Climate\\_Primer\\_RU.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/dokuments/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf).
4. Пачаури Р., Мейер Л. МГЭИК. Изменение климата. 2014 г.: Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в пятый оценочный доклад МГЭИК. — МГЭИК: Женева. Швейцария. С. 44.
5. Field C. B., Barros V. R., Dokken D. J. IPCC. 2014 b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York, NY USA. — 1132 p.
6. Бялко А. В. Палеоклимат: дополнение к теории Миланковича // Природа. 2009. № 12. С. 18–28.
7. Джирард Дж. Е. Основы химии окружающей среды (пер. с англ.). — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 640 с.
8. Мельников В. П., Смульский В. И. Астрономическая теория ледниковых периодов: Новые приближения. Решенные и нерешенные проблемы. — Новосибирск: Изд. ГЕО, 2009. — 98 с.
9. Тетельмин В. В. Потенциал глобального потепления // Охрана окружающей среды и заповедное дело. 2022. № 1. С. 93–102.
10. Тетельмин В. В. Антропогенные выбросы парниковых газов и формула глобального потепления // Экология промышленного производства. 2021. № 4. С. 46–52.
11. Barros V. R., Field C. B., Dokken D. J. IPCC. 2014 c. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. — 688 p.
12. Бринкман Э. Физические проблемы экологии. — Долгопрудный: Интеллект, 2012. — 288 с.
13. Тетельмин В. В. Физика и проблемы изменения климата // Вестник РАЕН. 2019. № 4. С. 29–35.
14. Силвер Дж. Глобальное потепление без тайн (пер. с англ.). — М.: Экспо, 2009. — 336 с.
15. Тетельмин В. В. Формула расчета темпа глобального потепления // Охрана окружающей среды и заповедное дело. 2021. № 3–4. С. 148–159.
16. Тетельмин В. В., Пимашков П. И. Биосфера и человек. Глобальное потепление. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 336 с.
17. Миркин Я. Будущее общество и место России // Россия в глобальной политике. 2020. № 6. С. 16–20.
18. Семенов С. М., Попов И. О. Сравнительная оценка влияния изменения концентрации диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно-равновесную температуру земной поверхности // Метеорология и гидрология. 2011. № 8. С. 34–43.
19. Tanaka K. R. The recent normalization of historical marine heat extremes. PLOS Clim 1(2). February 1. 2022. Maite de Castro. University of Vigo, Spain. doi.org/10.1371/journal.pclm.0000007.
20. Cheng L. Coauthors. Record-setting ocean warmth continued in 2019. // Adv. Atmos. Sci. 2020. V. 37(2). P. 137–142.
21. Тетельмин В. В. Планета Земля и человек. Единая экосистема. — М.: ЛЕНАНД, 2022. — 480 с.
22. EM-DAT, CRED/UC Louvain, Brussels, Belgium, www.emdat.be (D. Guha-Sapir) Version: 2020-06-15, The International Disaster Database (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), University of Louvain.
23. Global Challenges Annual Report: GCF and Thought Leaders Sharing What You Need to Know on Global Catastrophic Risks 2017: <https://bit.ly/2Z6qC0x>.

## Analytical calculation of global warming

V. V. TETELMIN

Public Council at the Ministry of Energy of the Russian Federation, Moscow, Russia

*The author have carried out a quantitative analysis of anthropogenic greenhouse gases accumulated by the atmosphere and climate system of Earth. The obtained dependences recommended for use to determine the maximum temperature of global warming and the time when the Earth's climate system reaches the state of radiation balance, i.e., the content of anthropogenic greenhouse gases in the atmosphere. The content of anthropogenic greenhouse gases is 880 ppm in the atmosphere, which can result in the "greenhouse saturation" of the Earth's climate system. The author propose an analytical calculation algorithm of the dynamics and limits of global warming under various scenarios of global greenhouse gas emissions. The performed some forecast calculations of the dynamics of global warming for two probable scenarios of changes in the content of anthropogenic greenhouse gases after 2020.*

**Keywords:** global warming, greenhouse gases, radiation balance, thermal energy.

**Bibliography** — 23 references.

*Received May 14, 2022*

УДК 614.76

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_42

EDN: SFUWUI

## Анализ предпочтений жителей умного города в мобильных средствах информирования о загрязнении городского воздуха

А. Н. ВАРНАВСКИЙ, канд. техн. наук

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Москва, Россия

*Актуальным направлением для мониторинга окружающей среды является разработка и использование мобильных устройств, которые позволят упростить взаимодействие и повлиять на вовлеченность горожан в городские экологические процессы. Цель работы — выявление предпочтений использования жителями умного города потенциальных мобильных средств информирования о загрязнении воздуха, и связь этих предпочтений с экологическим поведением. В качестве таких средств выделены смс-сообщения, мессенджеры, социальные сети, чат-боты, мобильные приложения без и с push-уведомлениями.*

**Ключевые слова:** информационные средства, загрязнение городского воздуха, умный город, мобильное приложение, мониторинг, предпочтения.

Около 60 % людей планеты проживают в городах и до 70 % мировой экономики сосредоточено в городах. При этом существует тенденция к увеличению этих показателей, что приводит к росту сложности управления различными отраслями городского хозяйства.

Экологическая ситуация в городах во многих случаях связана с их устойчивостью и пригодностью для жизни. Например, расширение пространства для экосистем и биоразнообразия в городах все чаще рассматривается как решающий фактор для благополучия горожан [1]. Сбалансированные стратегии управления устойчивостью городов могут компенсировать негативные последствия их загрязнения [2]. Реализация эффективных стратегий управления может быть осуществлена в умных городах.

Умный город представляет собой взаимосвязанную систему информационных и телекоммуникационных технологий с Интернетом вещей, осуществляющую поддержку управления внутренними процессами города. Во-первых, городская администрация может получать информацию с датчиков и устройств, обрабатывать и анализировать ее, за счет этого становится возможным отслеживание различных процессов, развития города. При этом можно сделать вывод о неэффективных и неоптимальных процес-

сах, понять причины этого, уменьшить издержки и провести их оптимизацию. Появляется возможность автономно и эффективно управлять ресурсами и энергией в масштабах всего города. Все это может способствовать благоустройству среды и улучшению качества жизни городского населения. Во-вторых, появляются технологии обратной связи и коммуникации населения с администрацией города. Так для умного города крайне важно, чтобы его населяли "умные жители", которые стремятся проявлять активизм и участвовать в процессах формирования города, улучшая собственную среду проживания.

Несомненно, одной из сильных сторон умного города является возможность повсеместного внедрения инноваций для повышения устойчивости и качества жизни граждан за счет улучшения общественных услуг и окружающей среды [3].

При этом жителям можно предоставить различные средства для работы с информационными процессами и, в частности, экологической информацией. Учитывая популярность мобильных устройств, в качестве информационных средств следует рассматривать смс-сообщения, мессенджеры, социальные сети, чат-боты, мобильные приложения без и с push-уведомлениями. Также важно выявлять и понимать взаимосвязь между предпочтениями в использовании информационных средств и экологическим поведением.

Целью работы является выявление предпочтений использования жителями умного города потенциальных мобильных средств информирования о загрязнении воздуха в городах и связь этих предпочтений с экологическим поведением.

Варнавский Александр Николаевич, доцент.

E-mail: avarnavsky@hse.ru

Статья поступила в редакцию 20 июня 2022 г.

© Варнавский А. Н., 2022

### Анализ предоставления экологической информации в умных городах

Существуют исследования, посвященные описанию экологических ситуаций в различных городах. Например, в работе [4] описана городская программа APnA, посвященная оценке загрязнения воздуха в 20 индийских городах. Представлены результаты инвентаризации выбросов с использованием нескольких загрязняющих веществ, а также 3-дневное прогнозирование качества воздуха. Однако большая часть приведенных городов не является умными, а результаты исследования, в первую очередь предназначены для местных и национальных политиков, а не для жителей.

В научной литературе описаны исследования, показывающие текущую экологическую ситуацию в существующих умных городах, созданные заделы для развития городской экологии и возможность улучшения экологической ситуации при переходе к модели умного города. Например, в [5] описан обзор продвижения Китая в области умных городов, интеллектуальных промышленных парков и низкоуглеродного планирования.

При переходе к умному городу открытым является вопрос, какие модели умных городов стоит использовать. Критические проблемы, заслуживающие внимания при разработке моделей умного города, для повышения устойчивости поднимаются в [6]. Здесь же авторы обращают внимание на необходимость исследования влияния модели умного города на поведение жителей в отношении защиты окружающей среды. В [7] показано, что бытовые отходы являются основным источником загрязнения прибрежной зоны и существует проблема осведомленности жителей города об уровне загрязнения. Авторы показали, что переход к модели умного города будет способствовать повышению устойчивости существования как самого города, так и жизни городских жителей в первую очередь за счет доступности информации и данных к повышению осведомленности общественности о загрязнении воды в результате их деятельности.

Некоторая часть рассмотренных работ посвящена техническим решениям, которые позволяют осуществить мониторинг окружающей среды и предоставить жителям информацию, в частности, о загрязнении городского воздуха. Так в [8] описаны открытые технологии (инициатива #SmartME и платформа Stack4Things), которые были предложены для реализации различных решений умного города, включая мониторинг окружающей среды. В [9] представлено экспериментальное исследование мониторинга загрязнения воздуха в реальном времени с использованием беспроводных датчиков на транспортных средствах общественного транспорта (шведский проект GreenIoT). За счет этого можно получить более детальные данные уровня загрязнения воздуха в ре-

альном времени в разных местах. В [10] рассматривается возможность использования мобильных измерений при участии городских жителей для оценки качества воздуха. Получено, что мониторинг зарегистрированного диоксида азота гражданами, использующими интеллектуальные и мобильные установки, в 3—5 раз выше концентрации, зарегистрированной пассивно-статическими приборами.

Полученные различными путями экологические данные можно публиковать на муниципальных городских службах [11] и использовать различными интернет-технологиями для природоохранных приложений [12], в том числе инновационными [13]. К таким технологиям можно отнести ГИС и экологические мобильные приложения для мониторинга окружающей среды и помощи жителям городов в различных ситуациях, связанных с экологической обстановкой [14—16].

В целом направление использования мобильных устройств для мониторинга окружающей среды является актуальным. И связано это не только с повышением оперативности предоставления экологической информации. Умный город невозможен без умных жителей, которые взаимодействуют с администрацией города. При этом такое средство как мобильное приложение может упростить взаимодействие и повлиять на вовлеченность городских жителей в городские экологические процессы. В качестве примера можно привести исследование, в котором показано изменение вовлечения граждан Ганы в демократические процессы, политическую коммуникацию, избирательную кампанию при использовании мобильных технологий [17].

Учитывая развитие информационных технологий, в качестве информационных средств можно предложить смс-сообщения, мессенджеры, социальные сети, чат-боты, мобильные приложения без и с push-уведомлениями. Однако в зависимости от особенностей пользователей, в том числе их отношения к экологическим проблемам и экологическим поведением, может наблюдаться различное отношение к этим средствам. Поэтому важно провести исследование предпочтений использования жителями умного города потенциальных мобильных средств для информирования о загрязнении городского воздуха и связи этих предпочтений с поведением в отношении к экологии.

В качестве умного города возьмем Москву. Согласно "IESE Cities in Motion Index" Москва является умным городом, который занял 87 место из 174 [18].

### Инструменты исследования

Для проведения исследования были разработаны анкета для проведения опроса, таблица попарных сравнений, а также предоставлялись разработанные информационные средства [19] (рис. 1).

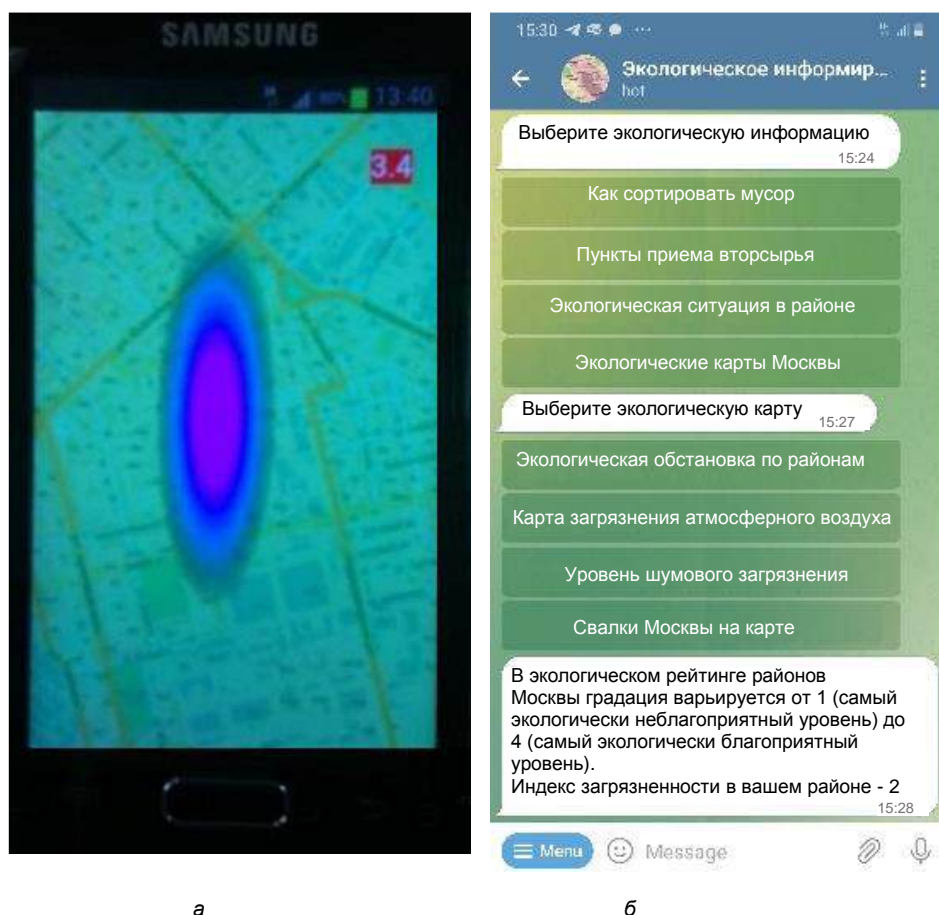


Рис. 1. Разработанные информационные средства: мобильное экологическое приложение (а) и диалоги чат-бота (б)

Для оценки экологического поведения респондентов была разработана анкета, состоящая из 40 вопросов в 5 разделах.

1) Информация о респонденте, в котором респондент указывал пол, возраст, район проживания, продолжительность проживания в Москве или Московской области, род деятельности.

2) Мнение о приоритетах развития информационных технологий для повышения качества жизни в городе, а также восприятие того, является ли Москва умным городом.

3) Отношение респондента к проблематике влияния экологических факторов на здоровье человека, экологической информации, субъективная оценка своего здоровья, субъективная оценка качества воздуха в районе проживания, оценка посещения ресурсов сети интернет, на которых представлена информации о загрязнении воздуха.

4) Оценка наличия ситуаций, в которых за последние 3 года происходило изменение поведения респондента при обнаружении загрязнения воздуха (изменение запланированного места для бега, отмена прогулки и т. п.), а также отношение к качеству воздуха в районе проживания, экологически чистым продуктам, воде для питья, проблеме мусора.

5) Отношение к экологическим информационным средствам и приоритету выводимой информации об окружающей среде (загрязнении воздуха, погоде и температуре, уровне шума, ситуации с мусором). Оценка поведения респондента в экологических ситуациях при использовании информационных средств.

Для оценки предпочтений респондентов в том или ином информационном средстве был выбран метод анализа иерархий Саати. В качестве альтернатив использовались  $\{A_1 = \text{'SMS-сообщения'}, A_2 = \text{'Сообщения в мессенджер/социальную сеть от городских служб'}, A_3 = \text{'Мобильное приложение без push-уведомлений'}, A_4 = \text{'Мобильное приложение с push-уведомлениями'}, A_5 = \text{'чат-бот'}\}$ . На основе этих альтернатив составлена матрица попарных сравнений размером  $5 \times 5$ . Для оценки альтернатив использована шкала, где значение от 1 до 9 ставится, если первая альтернатива предпочтительнее второй, а значение от  $1/9$  до  $1$  в случае, если вторая альтернатива предпочтительнее первой.

## Процедура исследования

### Метод проведения

**Участники.** Респондентами являлись 70 студентов 3—4 курсов бакалавриата очной формы обучения Московского кампуса Национального исследовательского университета "Высшая школа экономики". Число лиц мужского пола — 46, женского — 24. Средний возраст участников составил  $20,3 \pm 0,7$  год. Около половины опрошенных проживала в Москве, другая половина — в ближнем Подмоскowie. В Москве или Московской области 36 респондентов жили менее 5 лет, остальные респонденты, за редким исключением, жили здесь в основном с рождения.



**Материалы.** Для проведения эксперимента использовались разработанные информационные средства, анкета и таблица попарных сравнений.

**Процедура исследования.** Респондентам объясняли смысл данного экологического исследования. После чего они заполняли анкету, отвечая на вопросы о себе, приоритетах развития информационных технологий для повышения качества жизни в городе, отношении к экологии и экологической информации, самооценке здоровья, текущего поведения в экологических ситуациях. Затем им показывали информационные средства, которые можно использовать для предоставления информации о загрязнении воздуха. После этого испытуемые заполняли таблицу попарных сравнений, используя указанную шкалу.

#### **Полученные результаты**

Проводилась статистическая обработка результатов анкетирования.

Для каждой таблицы попарных сравнений определяли цену и вес каждой альтернативы. Путем ранжирования полученных весов делали вывод об иерархии предпочтений альтернатив для каждого респондента. Наиболее предпочтительной, с точки зрения респондента, являлась альтернатива, имеющая максимальный вес. Полученные оценки альтернатив проверяли на непротиворечивость.

### **Экологический портрет респондентов**

Большинство респондентов считают, что для улучшения качества жизни в Москве необходимо в первую очередь работать над информационной открытостью администрации города и активностью горожан в управлении городом. Также необходимо развивать системы мониторинга экологической безопасности и ликвидации последствий несанкционированного размещения отходов. Респонденты не считали приоритетными направлениями развитие мобильных сетей и сетей заправок для электромобилей.

В то же время респонденты считают, что для улучшения качества жизни населения в большинстве российских городах необходимо в первую очередь работать над обеспечением жителей доступом в Интернет, затем необходимо повышать активность горожан во взаимодействии с администрацией города и предоставить возможность записаться к врачу онлайн. Затем идет развитие системы мониторинга экологической безопасности, развитие сети заправок станций для электромобилей и системы мониторинга дорожного движения.

Практически все респонденты до этого исследования слышали о понятии "умный город". По мнению 11,4 % респондентов, Москва не является умным городом, 38,6 % респондентов считают, что Москва скорее не является умным городом. 31,8 % респондентов назвали Москву скорее умным городом. 18,2 % респондентов считают Москву умным городом.

43,2 % респондентов читают литературу, статьи по вопросам экологии, влияния экологии на здоровье. 75 % респондентов интересуются проблемами воз-

действия окружающей среды на здоровье человека. 61,4 % респондентов не знают о существовании источников, которые предоставляют информацию об уровнях загрязнения воздуха в городских районах. 22,7 % знают о существовании таких ресурсов, но почти никогда ими не пользовались.

Воздух в районе проживания оценили как достаточно чистый 20,5 % респондентов, как слабозагрязненный — 34,1 %, как среднезагрязненный — 36,4 %, как сильно загрязненный — 9,0 %. Оценили воздух в районе обучения как достаточно чистый 38,6 % респондентов, как слабозагрязненный — 34,1 %, как умеренно загрязненный — 22,7 %, как сильно загрязненный — 4,6 %.

Практически все респонденты разделяют мнение о влиянии качества воздуха на здоровье человека. Однако 29,5 % респондентов считают такое влияние средним, сильным — 45,5 %, очень сильным — 22,7 %. По самооценке здоровья 9,1 % респондентов считают свое здоровье плохим, 40,9 % — средним, 43,2 % — хорошим, 6,8 % — очень хорошим. 29,5 % респондентов считают, что в их случае на здоровье качество воздуха не влияет или влияет слабо, 47,7 % оценили влияние как среднее, 11,4 % — как сильное, 11,4 % — как очень сильное.

20,5 % опрошенных или их родители не покупают экологически чистые товары, в том числе потому, что считают это пустой тратой денег. 45,5 % респондентов или их родители покупают экологически чистые продукты. Остальные не покупают, но задумываются об этом. Почти 60 % респондентов очищают питьевую воду фильтром, около 30 % респондентов используют только бутилированную воду или воду из киоска. В целом, более 90 % респондентов обеспокоены проблемой вывоза мусора и распределением мусора, но только около 30 % из них пользуются раздельным вывозом мусора, остальные ничего не делают в этом направлении.

Большинство респондентов считают, что наиболее приоритетной является информация о погоде и температуре в городе. Несколько меньшее число респондентов присвоили приоритет 2 информации о загрязнении воздуха. Приоритет 3 был отдан информации об управлении и ситуации с мусором. Приоритет 4 получила информация об уровнях шума в городских районах (рис. 2).

Однако средний приоритет информации о погоде и температуре, поставленный респондентами, равен 2,23; средний приоритет информации о загрязнении воздуха — 2,09; средний приоритет информации о мусоре — 2,80; средний приоритет информации о шуме — 2,39. Эти значения, наряду с гистограммой рис. 2, показывают, что несмотря на преобладание приоритета 1 у информации о погоде, суммарное количество респондентов, поставивших приоритет 1 или 2 информации о загрязнении городского воздуха, больше, чем для остальных информационных ситуаций (рис. 2).

Приоритеты предпочитаемого мобильного средства предоставления информации о загрязнении воздуха респонденты расставили следующим образом (рис. 3).

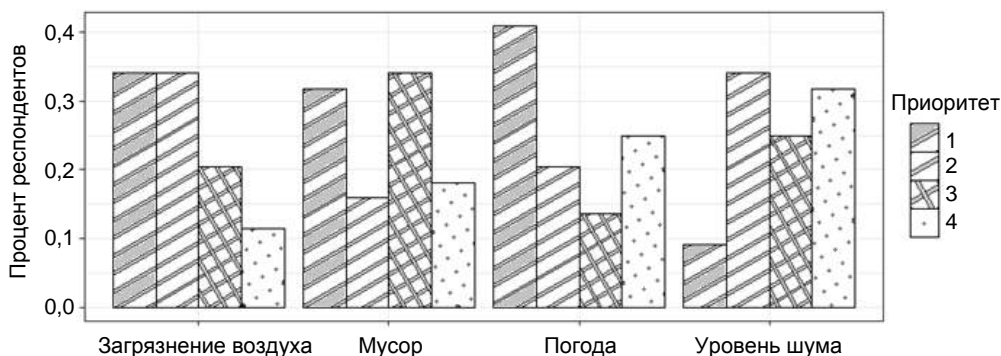


Рис. 2. Распределение приоритетов интереса к различным видам экологической информации

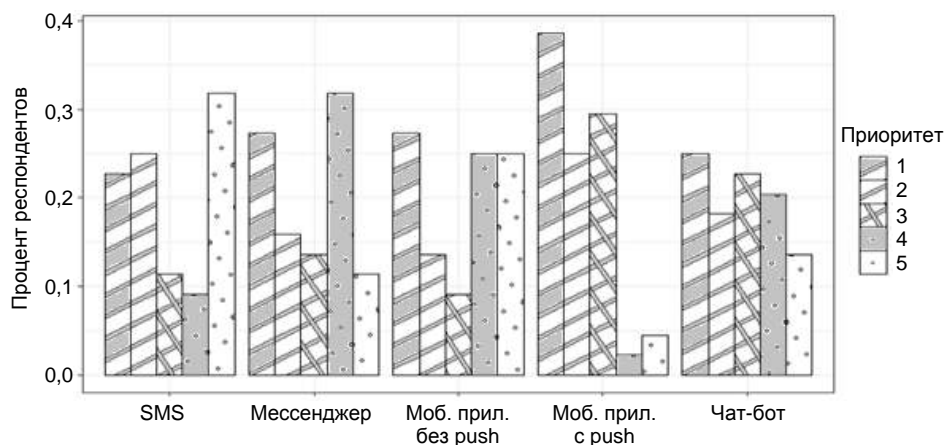


Рис. 3. Распределение приоритетов в различных видах информационных средств

Большая часть респондентов поставила первый приоритет мобильному приложению с push-уведомлениями. Чуть меньшая часть респондентов поставила первый приоритет мессенджеру и мобильному приложению без push-уведомлений, далее идет чат-бот, а затем SMS-сообщения. Мобильные средства предоставления информации получили следующие средние приоритеты: SMS — 3,02; мессенджер — 2,84; мобильное приложение без push-уведомлений — 3,07; мобильное приложение с push-уведомлениями — 2,09; чат-бот — 2,80. Таким образом, более приоритетным средством является мобильное приложение с push-уведомлениями, затем идет чат-бот и мессенджер, далее SMS и мобильное приложение без push-уведомлений. Сравнивая средние значения приоритетов с количеством респондентов, поставивших приоритет 1 тем или иным средствам, можно сделать вывод о большом количестве респондентов, поставивших приоритеты 2 и 3 чат-боту, а также приоритеты 4 и 5 мобильному приложению без push-уведомлений.

Таким образом, большая часть респондентов считает наиболее эффективным информационным

средством информирования о загрязнении городского воздуха мобильное приложение с push-уведомлениями. Мобильное приложение без push-уведомлений немного проиграло, очевидно за счет отсутствия функции уведомления об изменении экологической обстановки. По сути, чат-бот и мессенджер являются одним и тем же каналом получения информации, однако, в настоящее время чат-боты все-таки недостаточно распространены. Поэтому мессенджер получил первый приоритет чуть от большего числа респондентов.

Сравним средние значения приоритетов информации о загрязнении воздуха ( $P_{\text{воздух}}$ ), погоде и температуре ( $P_{\text{погода}}$ ), уровне шума ( $P_{\text{шум}}$ ), ситуации с мусором ( $P_{\text{мусор}}$ ), мобильных средств информирования (SMS-сообщения ( $P_{\text{SMS}}$ ), сообщения в мессенджер/социальную сеть от городских служб ( $P_{\text{мессен}}$ ), мобильное приложение без push-уведомлений ( $P_{\text{моб.}}$ ), мобильное приложение с push-уведомлениями ( $P_{\text{моб. push}}$ ), чат-бот ( $P_{\text{бот}}$ ), коэффициент несогласованности оценок (OS)) в двух группах: в первой группе респонденты считали Москву умным или скорее умным городом, во второй группе — нет (табл. 1).

Таблица 1

Результаты сравнения средних значений приоритетов в двух группах

Группа респондентов	$P_{\text{воздух}}$	$P_{\text{погода}}$	$P_{\text{шум}}$	$P_{\text{мусор}}$	$P_{\text{SMS}}$	$P_{\text{мессен}}$	$P_{\text{моб.}}$	$P_{\text{моб. push}}$	$P_{\text{бот}}$	OS
Москва — умный/ скорее умный город	2,09	2,14	2,82	2,68	3,41	2,55	3,09	1,95	2,86	0,11
Москва — неумный/ скорее неумный город	2,09	2,32	2,77	2,09	2,64	3,14	3,05	2,23	2,73	0,07

Видим, что средние значения приоритетов информации о погоде и мусоре значительно отличаются в группах. Значительно отличаются в этих группах значения  $P_{SMS}$ ,  $P_{мессен}$ , что может говорить о том, что за счет существования в умном городе большого количества информационных и телекоммуникационных технологий, уменьшается важность SMS-сообщений и появляется возможность использовать более эффективно другие каналы получения информации, которые в неумном городе нет смысла использовать или же не будет особого доверия к ним. Также видим, что в первой группе несколько выше значение коэффициента несогласованности оценок, что, очевидно, связано с похожестью некоторых каналов получения информации и за счет этого большей трудностью выбора более предпочтительного.

### Полученные статистические взаимосвязи

Опишем найденные статистические взаимосвязи между основными полученными результатами. Для этого будем использовать коэффициенты корреляции, дисперсионный анализ,  $t$ -тест и тест Фишера. Часть взаимосвязей получилась ожидаемой, а часть — достаточно неожиданной.

Чем больше респонденты прожили в Москве или ближнем Подмосковье, тем ниже они оценивают приоритет предоставления информации об уровне шума в районах города. Чем меньше трудовой опыт респондентов, тем выше они оценили необходимость развития системы мониторинга экологической безопасности и взаимодействие с городской администрацией для повышения качества жизни в городе. Респонденты, которые интересуются тематикой влияния экологии на здоровье человека, в большей степени читают экологическую литературу, их волнует проблема отходов и мусора, они выше оценивают приоритет информации о загрязнении городского воздуха над другими видами. Чем выше уровень загрязнения воздуха в районе проживания, тем более интересно для респондентов использование рассматриваемых информационных средств.

Можно сделать вывод о потенциальном поведении респондентов в некоторых экологических ситуациях. Так, если при использовании информационного средства возникнет ситуация, когда непрерывно в течение нескольких дней оно будет сообщать высокий уровень загрязнения воздуха, то 60 % респондентов, присвоивших первый или второй приоритет информации о загрязнении городского воздуха, напишут электронное письмо или позвонят в экологическую службу, 23,3 % респондентов готовы пойти в экологическую службу, 16,7 % респондентов не будут предпринимать никаких действий. 64,3 % респондентов, присвоившие 3 или 4 приоритет предоставления экологической информации о загрязнении городского воздуха, в такой же ситуации ничего предпринимать не будут, практически никто не готов пойти в экологическую службу, а остальные в лучшем случае напишут электронное письмо или позвонят в экологическую службу.

Наблюдается статистическая взаимосвязь между тем насколько респондента устраивает качество воздуха в районе проживания и тем, как он оценивает

приоритет предоставления информации о загрязнении воздуха в виде сообщений в мессенджеры и социальные сети. Большая часть респондентов, которых устраивает или практически устраивает качество воздуха в районе проживания, оценили этот приоритет как 4 или 5, и наоборот, большая часть респондентов поставивших первый приоритет, недовольны качеством воздуха. Такую взаимосвязь можно объяснить тем, что большую часть важной информации люди получают именно через сообщения в мессенджерах. Очевидно, люди, которые недовольны качеством воздуха, считают важной информацию о загрязнении воздуха и хотели бы ее получать по тому же каналу, что и другую информацию.

Наблюдается статистическая взаимосвязь между приоритетом предоставления информации о погоде и приоритетом мобильного приложения без push-уведомлений. Большинство респондентов, которые поставили первый приоритет мобильному приложению поставили информации о погоде четвертый приоритет и наоборот, большинство респондентов, которые поставили четвертый или пятый приоритет мобильному приложению, поставили информации о погоде первый приоритет. Такую взаимосвязь можно объяснить тем, что существуют и достаточно популярны мобильные приложения для прогноза погоды, которые установлены у многих. Соответственно, опыт использования этих приложений влияет на предпочтения в аналогичной форме подачи информации о загрязнении воздуха.

Можно отметить взаимосвязь между самооценкой влияния качества воздуха на здоровье и согласованность оценок попарных сравнений информационных средств. Большая часть респондентов, которые оценивают данное влияние как очень сильное, имеют несколько большую несогласованность оценок. Объяснить такое влияние можно важностью и сложностью вопроса выбора информационных средств в случае сильного влияния качества воздуха на здоровье. Аналогичная взаимосвязь наблюдается и в случае некоторых других показателей поведения респондентов.

Отметим и респондентов, указавших SMS-сообщения в качестве первого приоритета. Для них характерно проживание в районе с чистым воздухом, согласие с мнением о влиянии качества воздуха на здоровье, однако, они, в основном не читают соответствующую литературу и не посещают информационные ресурсы, показывающие загрязнение городского воздуха. Очевидно, что эта группа респондентов хотела бы получать информацию в случае ухудшения экологической ситуации, текущая ситуация ее не очень интересует.

### Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о предпочтениях жителей умного города в потенциальных мобильных средствах информирования о загрязнении городского воздуха. Найденны взаимосвязи между показателями поведения респондентов в отношении к экологии и расставляемыми приоритетами экологической информации и мобильными средствами информирования.

Результаты исследования показали, что предпочтения в выборе средств, информирующих о качестве городского воздуха, определяются тремя основными факторами: текущим опытом взаимодействия с информационными средствами, некоторыми аспектами экологического поведения и ощущениями от того, является ли город умным. В дальнейшей работе планируется построить количественные модели, которые бы предсказывали предпочитаемое информационное средство по показателям взаимодействия с информационными средствами и экологического поведения. Также необходимо углубленно изучить причины того, почему некоторые респонденты не считают Москву умным городом и как это повлияло на приоритеты представляемой информации.

Результаты исследования позволят более персонализированно подойти к разработке информационных средств информирования и предоставления экологической информации жителям городов, умных городов и мониторинга окружающей среды. Полученные выводы будут интересны разработчикам экологических информационных средств.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Barot S. et al. Urban ecology, stakeholders and the future of ecology // Science of The Total Environment. Elsevier. 2019. V. 667. P. 475—484.
2. Martínez-Bravo M. del M., Martínez-del-Río J., Antolín-López R. Trade-offs among urban sustainability, pollution and livability in European cities // J. Cleaner Production. Elsevier. 2019. V. 224. P. 651—660.
3. Appio F. P., Lima M., Paroutis S. Understanding Smart Cities: Innovation ecosystems, technological advancements, and societal challenges // Technological Forecasting and Social Change. North-Holland. 2019. V. 142. P. 1—14.
4. Gutikunda S. K., Nishadh K. A., Jawahar P. Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities // Urban Climate. Elsevier. 2019. V. 27. P. 124—141.
5. Wang Y. et al. Smart solutions shape for sustainable low-carbon future: A review on smart cities and industrial parks in China // Technological Forecasting and Social Change. North-Holland. 2019. V. 144. P. 103—117.
6. Colding J., Barthel S. An urban ecology critique on the "Smart City" model // J. Cleaner Production. Elsevier. 2017. V. 164. P. 95—101.
7. Rahmat A., Syadiah N., Subur B. Smart Coastal City: Sea Pollution Awareness for People in Surabaya Waterfront City // Procedia — Social and Behavioral Sciences. Elsevier. 2016. V. 227. P. 770—777.
8. Bruneo D. et al. An IoT service ecosystem for Smart Cities: The #SmartME project // Internet of Things. Elsevier. 2019. V. 5. P. 12—33.
9. Kaivonen S., Ngai E. C. H. Real-time air pollution monitoring with sensors on city bus // Digital Communications and Networks. Elsevier. 2020. V. 6. № 1. P. 23—30.
10. Mihăiță A. S. et al. Evaluating air quality by combining stationary, smart mobile pollution monitoring and data-driven modelling // J. Cleaner Production. Elsevier. 2019. V. 221. P. 398—418.
11. Castell N. et al. Mobile technologies and services for environmental monitoring: The Citi-Sense-MOB approach // Urban Climate. Elsevier. 2015. V. 14. P. 370—382.
12. Ferreira Hipólito J. Multimedia mobile services with applications in environment // Technological Forecasting and Social Change. North-Holland. 2007. V. 74. № 6. P. 854—865.
13. Granell C. et al. Future Internet technologies for environmental applications // Environmental Modelling & Software. Elsevier. 2016. V. 78. P. 1—15.
14. Akhmetov B., Aitimov M. Data Collection and Analysis Using the Mobile Application for Environmental Monitoring // Procedia Computer Science. Elsevier. 2015. V. 56. № 1. P. 532—537.
15. Khasha R. et al. Mobile GIS-based monitoring asthma attacks based on environmental factors // J. Cleaner Production. Elsevier. 2018. V. 179. P. 417—428.
16. Leelawat N. et al. Tsunami evacuation experiment using a mobile application: A design science approach // International J. Disaster Risk Reduction. Elsevier. 2018. V. 29. P. 63—72.
17. Tetey W. J. Mobile telephony and democracy in Ghana: Interrogating the changing ecology of citizen engagement and political communication // Telecommunications Policy. Pergamon. 2017. V. 41. № 7—8. P. 685—694.
18. Berrone P., Ricart J. E. IESE Cities in Motion Index. 2020. P. 1—112.
19. Varnavsky A. Research of Urban Residents Involvement in Environmental Processes Using a Mobile Environmental Application // Communications in Computer and Information Science. Springer, Cham. 2020. V. 1140 CCIS. P. 329—338.

## Analysis of Smart City residents' preferences in urban air pollution mobile awareness tools

A. N. VARNAVSKY  
HSE University, Moscow, Russia

*An urgent direction is the development and use of mobile devices for monitoring the environment, which will simplify interaction and influence the involvement of citizens in urban environmental processes. The aim of the work is to identify preferences for the use of potential urban air pollution mobile awareness tools by residents of a Smart City and the relationship of these preferences with environmental behavior. SMS messages, instant messengers, social networks, chat bots, mobile applications without and with push notifications are highlighted as information tools.*

**Keywords:** mobile awareness tools, urban air pollution, Smart City, mobile application, monitoring, preferences.

**Bibliography** — 19 references.

*Received June 20, 2022*

УДК 004.9

DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_49

EDN: SJVEQR

## Информационная поддержка обеспечения техносферной безопасности арктических регионов с использованием данных дистанционного зондирования Земли

<sup>1, 2</sup> А. В. ВИЦЕНТИЙ, канд. техн. наук; <sup>1, 2</sup> С. Ю. ЯКОВЛЕВ, канд. техн. наук;  
<sup>1</sup> А. С. ШЕМЯКИН

<sup>1</sup> Институт информатики и математического моделирования им. В. А. Путилова — обособленное подразделение ФГБУ науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Мурманская обл., Россия

<sup>2</sup> Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мурманский арктический государственный университет» в г. Апатиты, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия

*Управление промышленно-экологической безопасностью полярных регионов РФ представляет собой актуальную и сложную научно-техническую проблему. Общим подходом к решению подобных задач является применение современных информационных технологий и технических средств. Одним из таких компонентов представляется космическое зондирование. Статья носит обзорный характер и посвящена возможностям и особенностям использования этого инструментария в интересах управления безопасностью, прежде всего техносферной, арктических регионов РФ.*

**Ключевые слова:** промышленно-экологическая безопасность, арктические регионы, информационная поддержка, данные космического зондирования.

Борьба с техногенно-природными чрезвычайными ситуациями (ЧС) в Арктической зоне РФ (АЗРФ) представляет собой злободневную и сложную научно-техническую проблему. Актуальность обусловлена повышенным в последние годы вниманием к развитию Арктической зоны, важными стратегическими документами, принятыми в этой сфере, активизацией хозяйственной деятельности в российской Арктике. Сложность порождается многообразием решаемых задач и взаимодействующих ведомств, климатическими изменениями, неразвитостью социально-экономической инфраструктуры, обострением международной обстановки и другими факторами. Перспективное направление повышения безопасности — внедрение информационных технологий на всех уровнях и этапах управления. Одним из развивающихся, но ещё недостаточно используемых в этой сфере средств информатизации, являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Объектом исследования являются информационные технологии управления промышленно-экологической

безопасностью АЗРФ с учётом данных ДЗЗ. Под субъектом управления понимается какая-либо региональная информационно-аналитическая система (ситуационный или иной центр произвольной ведомственной принадлежности) управления борьбой с техносферными арктическими ЧС.

Основное внимание уделяется космическому зондированию и российской орбитальной группировке.

Целью работы является обзор и анализ возможностей применения ДЗЗ в интересах снижения рисков возникновения и развития промышленно-экологических ЧС, свойственных АЗРФ.

Для достижения этой цели решаются следующие основные задачи.

Даётся краткая характеристика состояния проблемы техносферной безопасности АЗРФ, далее рассматриваются основные направления, этапы и особенности использования ДЗЗ в интересах обеспечения промышленно-экологической безопасности полярных регионов. Итоги и направления продолжения исследований сведены в заключение.

### Основные техносферные опасности арктических регионов

Проблематике техносферной безопасности АЗРФ посвящено очень много работ [1—5], конференций и форумов различных уровней. Описаны факторы риска, возможные аварии, обсуждается архитектура безопасности, силы и средства спасания. Приведём классификацию рисков промышленно-экологических ЧС в АЗРФ из работы [4] (рис. 1).

**Вицентий Александр Владимирович**, старший научный сотрудник, доцент кафедры информатики и ВТ.

E-mail: vicentiy@iimm.ru

**Яковлев Сергей Юрьевич**, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой информатики и ВТ.

E-mail: yakovlev@iimm.ru

**Шемякин Алексей Сергеевич**, младший научный сотрудник.

E-mail: shemyakin@iimm.ru

Статья поступила в редакцию 30 июня 2022 г.

© Вицентий А. В., Яковлев С. Ю., Шемякин А. С., 2022

<i>Группы рисков</i>	<i>Классификация групп рисков</i>
Риски чрезвычайных ситуаций природного характера	Опасные гидрометеорологические явления в Арктике
	Морфология и динамика берегов арктических морей
	Воздействие ледовых образований
	Газогидраты в Арктике
	Опасные для газопромысловых сооружений геологические и природно-техногенные процессы на Западно-Арктическом шельфе России
	Деградация вечной мерзлоты
Риски чрезвычайных ситуаций техногенного характера	Риски аварий с разливом нефти
	Риски аварий сооружений на вечной мерзлоте
	Риски транспортировки газа по морскому дну
	Риски аварий на гидроэлектростанциях, построенных в зоне вечной мерзлоты
	Риски аварий на потенциально опасных промышленных объектах в Арктике
	Риски кораблекрушений в арктических морях
	Риски авиационных аварий в Арктике
Риски чрезвычайных ситуаций экологического характера	Состояние окружающей среды Арктической зоны
	Экологические проблемы Арктической зоны РФ
	Состояние окружающей среды в районах, отнесенных российской Арктической зоне
	Техногенные нарушения природных ландшафтов Арктической зоны РФ
	Экологические риски разлива нефти на Арктическом шельфе
	Влияние климата на экологию Арктики

Рис. 1. Классификация рисков ЧС в АЗРФ

В связи с бурным развитием нефтегазовой отрасли большое внимание уделяется опасностям, связанным с разливами нефти и нефтепродуктов. Отметим в этой связи работу [6], в которой обосновывается актуальность космического мониторинга, позволяющего производить раннее обнаружение таких ЧС, оценивать их масштабы и последствия.

Отдельной и специфической проблемой является обеспечение безопасности развития Северного морского пути.

Ежегодно формируются доклады различных ведомств, укажем для примера на [7, 8]. В них проблемам безопасности арктических регионов, вопросам ДЗЗ посвящены специальные разделы.

Обострение вопросов промышленно-природной безопасности в АЗРФ связано, главным образом с ускоренными (по сравнению с другими регионами РФ) климатическими изменениями и сложной международной обстановкой.

### Общие вопросы использования ДЗЗ

ДЗЗ активно применяется для решения широкого спектра задач в таких областях, как гидрология [9, 10], исследование климата [11, 12], сельское и лесное хозяйство [13, 14], экологический мониторинг [15—17], предупреждение ЧС и минимизация ущерба от них [18—20] и многих других. В рамках данной работы будем рассматривать прежде всего технологии спутникового зондирования, которые применяются или которые могут найти применение для решения задач управления промышленно-экологической безопасностью АЗРФ. При анализе оказано предпочтение данным, полученным космическими аппаратами (КА) российской орбитальной группировки, представ-

ленной спутниками серий "Арктика-М", "Канопус-В", "Метеор-М", "Электро-Л" и др.

Говоря о применении данных ДЗЗ в контексте промышленно-природной безопасности и чрезвычайных ситуаций, можно условно выделить два основных направления: мониторинг и картирование. К наиболее распространенным задачам в рамках этих направлений относятся: мониторинг пожарной обстановки, мониторинг разливов рек, картирование затоплений прибрежных территорий, мониторинг выбросов различных загрязняющих веществ, картирование загрязненных территорий, картирование состояния растительного покрова, мониторинг ледовой обстановки, картирование состояния водной среды и т. п.

Использование ДЗЗ из космоса позволяет получать оперативную информацию для мониторинга, оценки и моделирования потенциально опасных явлений, происходящих на значительной территории. Кроме того, с 2013 г. возможности получения разнообразных космических снимков для мониторинга и картирования масштабных ЧС, стихийных бедствий и катастроф существенно расширились. Это связано с тем, что государственная корпорация "Роскосмос" [20] присоединилась к международной Хартии по космосу и крупным катастрофам. Данная Хартия предусматривает возможность бесплатного получения и использования её участниками снимков со спутников ДЗЗ в случае крупных катастроф. Со стороны Роскосмоса функции по работе с данными ДЗЗ возложены на Научный центр оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) [22]. В целом, в настоящее время в рамках Хартии доступны данные с более чем 60 различных спутников.

Одним из крупнейших гражданских потребителей данных ДЗЗ в нашей стране является МЧС России,



которое использует данные дистанционного зондирования и информационные продукты на их основе для обеспечения защиты населения и территорий от ЧС [23]. Система спутникового мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС России имеет как свои центры приема и обработки данных ДЗЗ, так и доступ к центрам приема и обработки данных ДЗЗ "Роскосмоса", расположенным в разных частях страны. Возможность доступа к распределенной сети центров приема и обработки данных ДЗЗ позволяет МЧС России оперативно получать информацию не только о развитии конкретной чрезвычайной ситуации, но и о предвестниках потенциально опасных ситуаций. К основным задачам, решаемым МЧС России с привлечением данных ДЗЗ, можно отнести мониторинг и оценку последствий наводнений, мониторинг природных пожаров большой площади, мониторинг и оценку масштабов и динамики развития аварийных разливов нефтепродуктов и многие другие. При этом основными источниками данных ДЗЗ являются данные от российских спутников, международной космической станции, спутников, входящих в Хартию, а также данные из открытых источников.

Можно отметить разработки и системы в области ДЗЗ из космоса, созданные и использующиеся в Российской академии наук и других отечественных организациях.

Отдельного внимания заслуживает федеральное государственное бюджетное учреждение "Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии "Планета" (ФГБУ "НИЦ "Планета"), входящее в систему Росгидромета. Это ведущая организация в РФ в области национальных космических систем гидрометеорологического, океанографического, гелиогеофизического назначения и мониторинга окружающей среды. Также "НИЦ "Планета" осуществляет деятельность по работе с данными зарубежных спутников и взаимодействует с национальными гидроме-

теорологическими службами и космическими агентствами более трех десятков стран и с международными организациями, такими, как EUMETSAT, GEO, WMO, CEOS, CGMS.

Группировка Российской Федерации природно-ресурсного и метеорологического назначения включает в себя двенадцать космических аппаратов. К ним относятся девять полярно-орбитальных спутников (четыре КА "Канопус-В", три КА "Метеор-М", один КА "Канопус-В-ИК", один КА Аист-2Д), два геостационарных спутника (два КА "Электро-Л"), один из самых современных спутников на высокоэллиптической орбите (КА "Арктика-М").

"НИЦ "Планета" выпускает большое количество тематических информационных продуктов на основе данных ДЗЗ, полученных из космоса. В частности, это карты пожарной и паводковой обстановки по регионам, карты снежного и ледового покрова, оперативные данные для мониторинга различных водных объектов и вулканической активности и другие информационные продукты, представляющие ценность для решения задач мониторинга и ликвидации ЧС, а также управления промышленно-экологической безопасностью.

Нельзя не упомянуть работы Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). К наиболее значимым разработкам, которые могут найти применение для решения задач мониторинга ЧС, можно отнести такие системы (сервисы), как BEGA-Science, See The Sea (STS), VolSatView, информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), отраслевая система мониторинга Федерального агентства по рыболовству (ОСМ Росрыболовства) и многие другие.

На рис. 2 приведены источники различных ведомств, которые могут быть применены для космического зондирования ЧС АЗРФ.

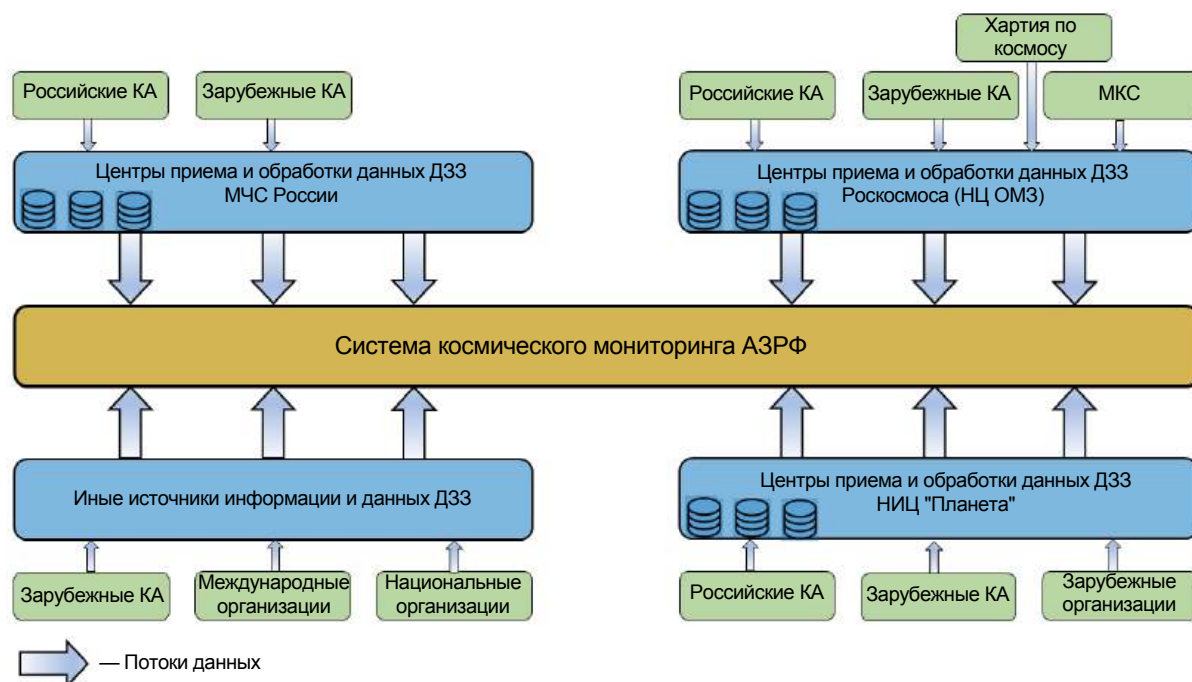


Рис. 2. Схема космического зондирования ЧС АЗРФ

Использование данных ДЗЗ из космоса, а также различных информационных продуктов на их основе для решения задач управления промышленно-экологической безопасностью востребовано на различных этапах работы. Использование этих данных позволяет значительно повысить эффективность при обнаружении предвестников потенциально опасных и чрезвычайных ситуаций, что позволяет заблаговременно принять меры для предотвращения ЧС или минимизации ущерба.

Данные ДЗЗ незаменимы в случаях, когда необходимо оперативно получить информацию о развитии ЧС в малодоступных районах АЗРФ, например в случае лесных пожаров, крупных наводнений, чрезвычайных ситуаций в открытом море и т. д. Оперативное получение точных данных о развитии ЧС с помощью ДЗЗ позволяет как повысить эффективность координации сил и средств, направленных на реагирование и ликвидацию ЧС, так и провести моделирование и прогнозирование её дальнейшего развития. Возможность моделирования ситуаций позволяет своевременно принять адекватные меры для того, чтобы не допустить человеческих жертв и снизить материальный ущерб.

### Обработка данных ДЗЗ

Необходимо отметить, что лица, принимающие решения в области промышленно-экологической безопасности, практически не используют данные ДЗЗ из космоса без предварительной обработки. Так, для выработки управляющих воздействий, направ-

ленных на выявление предвестников ЧС, предотвращение ЧС или снижение ущерба, используются, как правило, специализированные географические информационные системы (ГИС), геопорталы или специально разработанные тематические информационные продукты на основе данных ДЗЗ.

Например, для обеспечения оперативного получения, обработки и распространения результатов обработки данных ДЗЗ в виде изображений сверхвысокого, высокого и среднего пространственных разрешений в МЧС России используются специализированные ГИС, одной из которых является ГИС "Космоплан" [24] (рис. 3).

ГИС "Космоплан" позволяет использовать как оптические, так и радиолокационные данные ДЗЗ в различных разрешениях и спектральных диапазонах в зависимости от специфики конкретной прикладной задачи.

Данная ГИС позволяет использовать векторные отображения паспортов объектов и территорий, картографическое покрытие территорий с высокой степенью детализации, полученное из внешних источников, а также различные виды космических снимков. Например, для решения задач по оценке ледовой, паводковой и пожарной обстановки ГИС позволяет получать и обрабатывать мультиспектральные оптические данные низкого пространственного разрешения от 250 м до 1 километра. Также ГИС "Космоплан" имеет встроенные инструменты для работы с данными радиолокационной съемки как высокого (от 1 до 5 м), так и среднего (от 8 до 50 м) пространственного разрешения. Такие данные применяются,

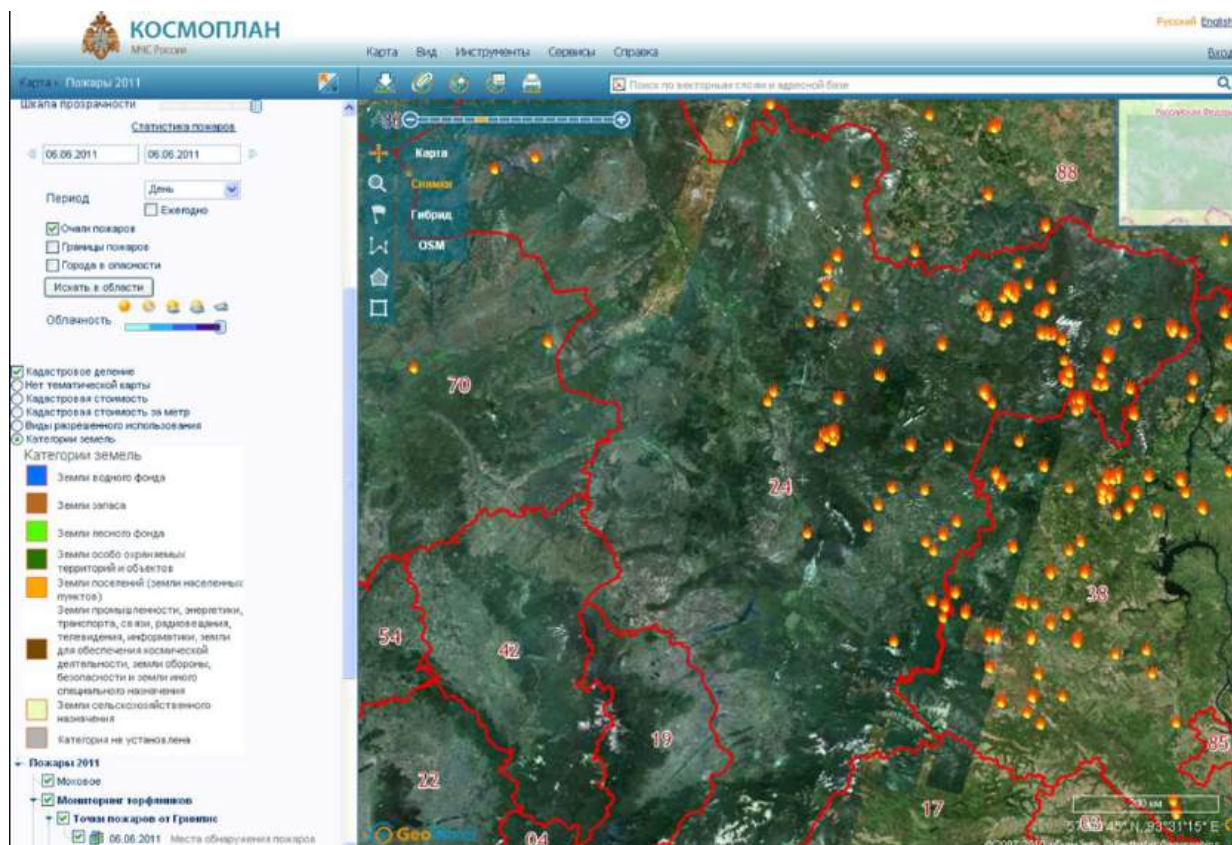


Рис. 3. Общий вид специализированной географической информации системы МЧС России "Космоплан"

например, для мониторинга крупных водных объектов, паводковой обстановки, разливов нефтепродуктов, ледовой обстановки, а также для получения информации в случаях, когда территория чрезвычайной ситуации покрыта густой облачностью, что делает невозможным использование оптических снимков. Для решения задач, связанных с мониторингом ЧС техногенного и природного характера, требующих высокой точности, возможно применение оптических панхроматических и мультиспектральных космоснимков сверхвысокого (до 0,5 м), высокого (от 1 до 2 м) и среднего (от 2 до 20 м) пространственного разрешения.

В целом ГИС "Космоплан" позволяет:

- повысить качество информации на основе ДЗЗ за счет значительной автоматизации обработки данных;
- увеличить полноту и оперативность информации, представляемой лицам, принимающим решения;
- интегрировать данные из других систем космического мониторинга, включая системы "Роскосмоса" и МЧС России;
- автоматически генерировать каталог ситуационных карт по заданной территории, на которой возникла чрезвычайная ситуация;
- строить трехмерные визуальные представления зон ЧС на основе цифровых моделей рельефа и оперативных данных ДЗЗ о местности;
- автоматизировать формирование отчетных документов по данным ДЗЗ и данным, полученным из внешних источников.

Таким образом, выбор данных ДЗЗ, необходимых для решения какой-либо задачи, включает в себя выбор соответствующих информационных продуктов.

### Основные источники данных ДЗЗ из космоса

В совокупности Российская Федерация имеет более 160 активно используемых космических аппаратов, работающих на высотах от 200 до 40000 километров. Однако, более 90 КА являются спутниками военного либо двойного назначения и получение каких-либо данных с их помощью ограничено [25]. В орбитальную группировку России, кроме космических аппаратов ДЗЗ, входят также метеорологические и топогеодезические КА, спутники навигации, связи и двойного назначения, научные спутники и другие виды космических аппаратов. Российская группировка гражданских спутников ДЗЗ состоит всего из 10 аппаратов (без учета нового космического аппарата "Арктика-М"). Это пять КА типа "Канопус-В", три КА типа "Метеор-М", два КА типа "Электро-Л" [26]. Это очень мало. Так, для сравнения, США имеет 18 КА ДЗЗ, Евросоюз — 18, Индия — 20, а Китай имеет 42 космических аппарата для получения данных ДЗЗ. Однако, по заявлениям руководства акционерного общества "Российские космические системы", к 2025 г. в Российской Федерации будет функционировать до 28 спутников ДЗЗ [27]. Ознакомиться с основными характеристиками российских гражданских космических аппаратов ДЗЗ и оборудования, установленного на них, можно на официальных сайтах "Роскосмоса" и НЦ ОМЗ. Кратко опишем

типовое назначение данных спутников (по данным НЦ ОМЗ).

КА серии "Канопус-В" могут выполнять оперативный мониторинг промышленно-природных ЧС. Они позволяют решать задачи картографирования территорий; прогнозирования землетрясений на основе обнаружения и регистрации специфических аномальных явлений; мониторинга землепользования; обнаружения очагов лесных пожаров; обнаружения и мониторинга выбросов различных загрязняющих веществ в окружающую среду.

КА серии "Метеор-3М" предназначены для наблюдения атмосферы и поверхности Земли, обеспечивают получение гидрометеорологической и геологофизической информации. Аппараты данной серии позволяют решать задачи сбора и передачи данных от различных платформ, включая дрейфующие и наземные платформы; сбора данных для научных исследований; мониторинга в целях решения задач лесного и сельского хозяйства.

КА серии "Электро-Л" — это геостационарные гидрометеорологические спутники, с помощью которых можно оперативно получать изображения облачности и поверхности. Данные этих аппаратов активно используют такие организации, как Росгидромет, Роскартография, Минприроды, а также разнообразные административные, хозяйственные и коммерческие организации.

КА серии "Ресурс-П" выведены из эксплуатации, но полученные ими данные могут быть использованы для решения некоторых прикладных задач. Кроме того, генеральный директор АО "Ракетно-космический центр "Прогресс", которое является предприятием — изготовителем спутников данной серии, Дмитрий Баранов заявил, что в настоящий момент два новых спутника ("Ресурс-П" № 4 и "Ресурс-П" № 5) находятся в разной стадии готовности. Дата запуска аппаратов будет определена исходя из сроков поставки необходимой бортовой аппаратуры [28]. Аппараты данной серии предназначены для осуществления локального и регионального мониторинга, например, для охраны, оценки и контроля состояния окружающей среды. Аппараты данной серии позволяли решать задачи определения вида и состояния растительности; обнаружения незаконных посевов и контроля их уничтожения; осуществления инвентаризации природных ресурсов; создания и обновления различных типов карт и кадастровых планов; осуществления информационного обеспечения решения задач поиска месторождений полезных ископаемых; выявления и изучения различных видов и очагов загрязнений окружающей среды; обнаружения и определения составов пленочных загрязнений на водных поверхностях; идентификации различных видов почв и некоторых минералов; оценки состояния ледовой обстановки; контроля водоохраных зон, территорий заповедников и особо охраняемых природных территорий; контроля уровня загрязнения и деградации окружающей среды; мониторинга различных ЧС; исследования природных ресурсов.

КА серии "Арктика-М" (запущен один аппарат "Арктика-М № 1") являются высокоэллиптическими

гидрометеорологическими спутниками, предназначенными для обзора северных территорий Российской Федерации и Арктики в непрерывном режиме. "Арктика-М № 1" обеспечивает получение изображений облачного слоя и поверхности Земли в инфракрасном и видимых диапазонах за счет использования многозонального сканирующего устройства гидрометеорологического обеспечения (МСУ-ГС). Также данный космический аппарат несет на себе гелиогеофизический аппаратный комплекс (ГТАК-ВЭ), аппаратуру системы "Коспас-Сарсат" для ретрансляции сигналов от аварийных буев и аппаратуру передачи данных между наземными метеорологическими станциями, что существенно расширяет возможности его применения.

### Получение данных ДЗЗ

Для получения данных ДЗЗ можно воспользоваться разными способами, отличающимися, кроме ассортимента, оперативностью и стоимостью предоставления данных. Можно относительно просто и быстро получить практически любые данные ДЗЗ на коммерческой основе. Однако когда речь идет о получении данных органами федеральной или региональной власти, министерствами и ведомствами, а также различными государственными и бюджетными организациями, вопрос приобретения данных ДЗЗ на коммерческой основе может существенно осложниться. Поэтому многие российские потребители данных ДЗЗ из перечисленных ранее часто предпочитают пользоваться доступными средствами заказа данных, предоставляемыми государственными и аффилированными с ними компаниями. В этом контексте упомянем государственную корпорацию по космической деятельности "Роскосмос", НЦ ОМЗ и акционерное общество "Российские космические системы", которые занимаются распространением данных ДЗЗ и продуктов на их основе как на коммерческой, так и на некоммерческих принципах.

Одним из основных и широко известных каналов получения данных ДЗЗ является Геопортал данных ДЗЗ "Роскосмоса". Этот геопортал представляет собой специализированный геоинформационный ресурс, обеспечивающий доступ к единому, наиболее полному банку данных ДЗЗ из космоса, полученных российскими космическими аппаратами [29]. Геопортал позволяет пользователю осуществить поиск данных ДЗЗ по заданным параметрам, выполнить предварительный просмотр полученных результатов, а также сформировать заявку как на архивные, уже существующие в каталоге, данные, так и на новую съемку по заданным параметрам.

К основным пользователям Геопортала и потребителям данных ДЗЗ можно отнести органы государственной власти Российской Федерации различного

уровня, МЧС России, Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации и прочие ведомства, агентства и некоторые бюджетные организации. Коммерческие организации и частные лица также могут пользоваться инструментарием Геопортала для поиска и просмотра каталогизированных данных ДЗЗ. Однако сформировать заявку на новую съемку интересующей территории, а также на обработку и получение архивных данных ДЗЗ имеют возможность только организации федеральных органов исполнительной власти. При этом пополнение каталога доступных данных осуществляется ежедневно [29].

Также можно заказать интересующие пользователя данные через формы заявок на получение данных ДЗЗ в разделе заказа данных официального сайта НЦ ОМЗ [30]. НЦ ОМЗ, как и АО "Российские космические системы", работает как с федеральными и региональными органами исполнительной власти, так и с коммерческими фирмами и частными лицами. При этом распространение данных осуществляется как непосредственно, так и через обширную сеть дистрибьюторов, из которых отдельного внимания заслуживают такие крупные компании, как общество с ограниченной ответственностью инновационно-технологический центр "Сканэкс" [31] и общество с ограниченной ответственностью "Совзонд" [32].

Распространением разнообразных космических снимков, включая снимки с космических аппаратов ДЗЗ, занимается огромное количество как отечественных, так и зарубежных коммерческих фирм. Цены и условия приобретения данных у таких фирм могут существенно различаться, поэтому необходимо узнавать актуальную информацию для каждой решаемой задачи отдельно.

К некоторым недостаткам использования данных ДЗЗ из космоса, а также различных информационных продуктов на их основе для решения задач управления промышленно-экологической безопасностью можно отнести, прежде всего, необходимость развития соответствующей инфраструктуры, закупки дополнительного оборудования и обучения персонала для работы с данными ДЗЗ. Кроме того, можно отметить недостаточное количество как мультиспектральных, так и радиолокационных данных ДЗЗ, которые можно получить с российских спутников. Поэтому для решения некоторых специфических задач приходится использовать данные зарубежных космических аппаратов, таких, как CosmoSkyMed, TerraSAR-X, Radarsat-2 и подобных на коммерческой основе, что существенно ограничивает эффективность мер по обнаружению, мониторингу и прогнозированию ЧС, а также потенциально снижает степень защиты населения от ЧС.

На рис. 4 приведён обобщённый алгоритм принятия решения об использовании данных ДЗЗ.

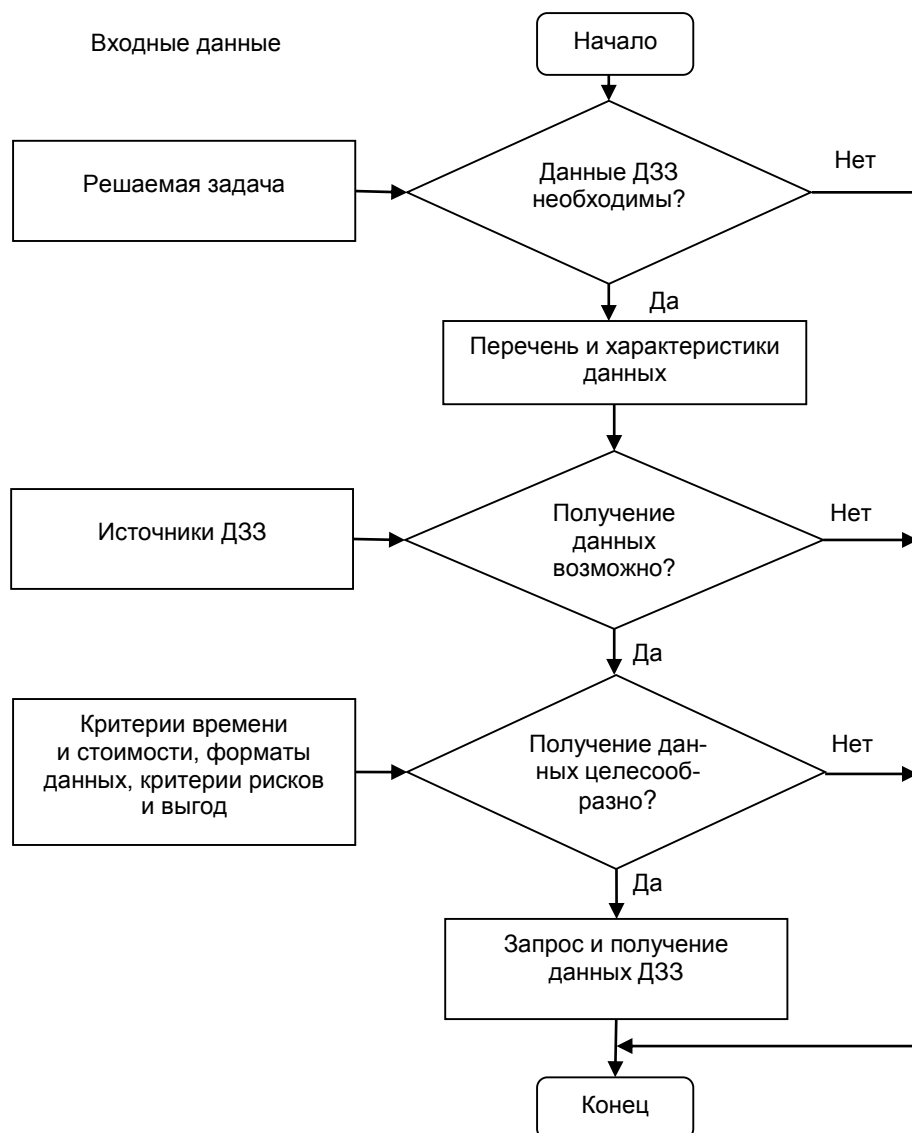


Рис. 4. Принятие решения об использовании Д33

### Заключение

Рассмотрены возможности и особенности применения данных Д33 для задач информационно-аналитического обеспечения промышленно-природной безопасности арктических регионов. В качестве основных источников информации представлены отечественные космические аппараты.

Отмечены виды аварий и чрезвычайных ситуаций в АЗРФ, для борьбы с которыми используется зондирование Земли из космоса.

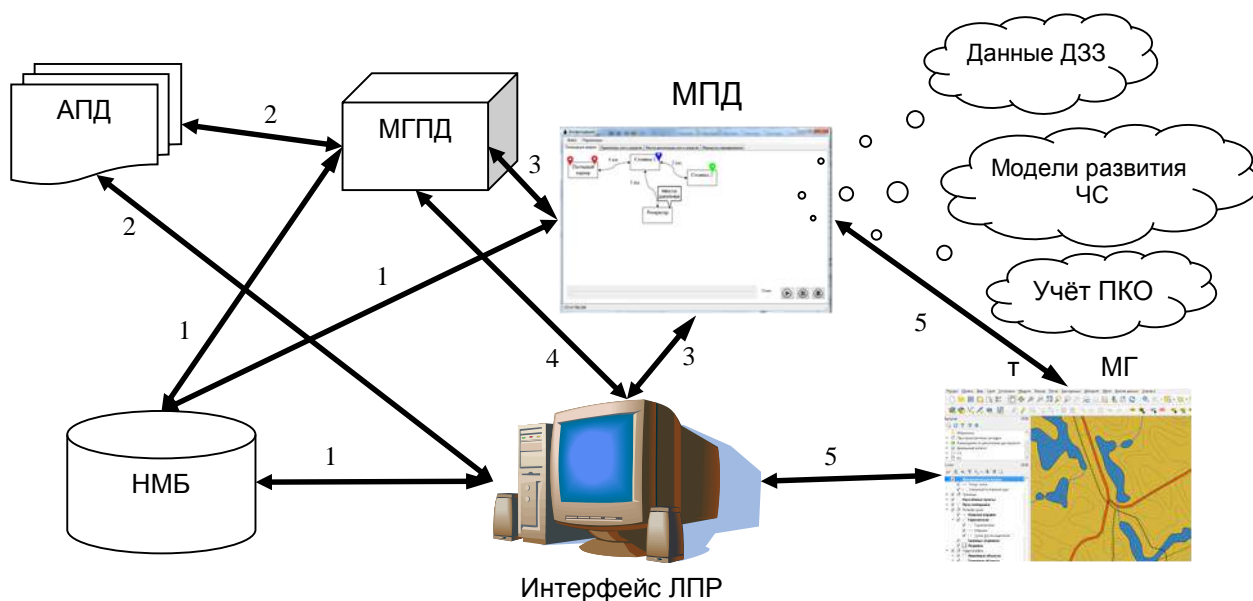
Приводятся сведения о современной системе космического зондирования АЗРФ. Мониторинг и картирование поверхности выделены в качестве наиболее развитых направлений реализации.

Рассмотрены вопросы обработки и представления данных Д33. Возможности информационных технологий, обеспечиваемые Д33, проиллюстрированы на примере ГИС "Космоплан".

Дана характеристика российских космических аппаратов — источников данных Д33. Описаны возможные каналы получения информации Д33.

Ранее [33] авторами была предложена концептуальная схема взаимодействия компонентов системы поддержки принятия решений по управлению промышленно-экологической безопасностью. В данной работе предлагается модифицировать данную схему в направлении учёта возможностей использования Д33 (см. рис. 5).





НМБ — нормативно-методическая база  
 АПД — архив планирующей документации  
 МГПД — модуль генерации планирующих документов  
 МГ — модуль геовизуализации  
 МПД — модуль планирования действий  
 ПКО — природно-климатические особенности  
 ЛПР — лицо, принимающее решение

#### Обмен информацией между компонентами

1. Сведения об актуальности нормативных актов, запросы на обновление, тексты нормативных актов
2. Запрос архивных документов и отправка созданных документов в архив
3. Календарный план борьбы с ЧС
4. Текст планирующего документа, запрос данных у пользователя
5. Геоданные

Рис. 5. Концептуальная схема управления промышленно-экологической безопасностью арктического региона

В качестве направления продолжения исследований планируется конкретизация вопросов применения данных ДЗЗ для различных уровней и этапов управления техногенно-экологической безопасностью АЗРФ, в частности для обеспечения развития Северного морского пути. Также намечены исследования по оцениванию неопределённости и риска при использовании ДЗЗ.

*Работа выполнена в рамках темы НИР  
 122022800547-3 "Разработка теоретических  
 и организационно-технических основ  
 информационной поддержки управления  
 жизнеспособностью региональных критических  
 инфраструктур Арктической зоны  
 Российской Федерации"*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов В. А. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России // Проблемы анализа риска. 2010. Т. 7. № 4. С. 26—49.
2. Яковлев С. Ю. Основы создания системы комплексной безопасности для защиты Арктической зоны Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций // Вестник Кольского научного центра. 2014. № 3. С. 84—91.
3. Матвеев А. В. Стратегическое планирование сил и средств МЧС России в Арктической зоне // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2017. № 4(20). С. 32—42.

4. Матвеев О. В. Некоторые проблемы безопасности в российской Арктической зоне: история и политика // Вестник Екатеринбургского института. 2019. № 2(46). С. 92—101.

5. Матвеев А. В., Метельков А. Н. Развитие системы информационного взаимодействия в интересах обеспечения безопасности в Арктической зоне РФ // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2021. № 4(36). С. 12—19.

6. Актерский Ю. Е., Смирнов А. С. Космический мониторинг чрезвычайных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли в Арктической зоне Российской Федерации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 1(61). С. 51—59.

7. Государственный доклад "О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году" // ФГБВОУ ВО "Академия гражданской защиты МЧС России". — М.: МЧС России, 2022. — 250 с.

8. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации, Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07\\_09\\_2020\\_M\\_P\\_O%20\(1\).pdf](http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cf1/07_09_2020_M_P_O%20(1).pdf) (дата доступа: 26.03.2021).

9. Гагаринова О. В., Раздобарин Д. Е. Гидрологический режим реки при изменении ландшафтной структуры водосбора (на примере реки Голоустной) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 37. С. 17—27. DOI 10.26516/2073-3402.2021.37.17.

10. Свирепов С. С. Систематизация прорывоопасных озёр на территории горного Алтая (с помощью методов ДЗЗ) // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: сб. докладов междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23—31 октября 2020 года / Санкт-Петербургский государственный университет. — Санкт-Петербург: ООО "Издательство ВВМ", 2020. С. 353—357.

11. Колотухин А. Ю., Бармин А. Н. Тренды изменений климата Богдинско-Баскунчакского района и их возможные последствия // Современные проблемы географии: Межвузовский сборник науч-

ных трудов / Составители В. В. Занозин, М. М. Иолин, А. Н. Бармин, А. З. Карабаева М. В. Валов. — Астрахань: "Астраханский государственный университет", 2019. С. 14—22.

12. **Пашинов Е. В., Садовский И. Н., Сазонов Д. С.** Возможности получения основных климатологических продуктов на основе данных ДЗЗ МТВЗА-ГЯ Метеор-М №2-2: мат. 18-й Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса": Электронный сборник материалов конференции, Москва, 16–20 ноября 2020 года / Институт космических исследований Российской академии наук. — М.: Институт космических исследований Российской академии наук, 2020. С. 37.

13. **Кулешев В. В.** Мониторинг состояния и развития посевов в сельском хозяйстве при помощи методов ДЗЗ // Славянский форум. 2021. № 2(32). С. 299—310.

14. **Гаврилюк Е. А., Кузнецова А. И., Горнов А. В.** Геопространственное моделирование содержания и запасов азота и углерода в лесной подстилке на основе разносезонных спутниковых изображений Sentinel-2 // Почвоведение. 2021. № 2. С. 168—182. DOI 10.31857/S0032180X21020040.

15. **Павлова А. Н.** Взгляд на экологические аспекты крупных городов с использованием данных дистанционного зондирования // Современные проблемы географии: Межвузовский сборник научных трудов / Составители: В. В. Занозин, М. М. Иолин, А. Н. Бармин, А. З. Карабаева, М. В. Валов. — Астрахань: Издательский дом "Астраханский университет", 2021. С. 16—20.

16. **Хлюстов В. К., Ганихин А. М., Хлюстов Д. В.** Новая методика и аналитическая система дистанционной инвентаризации лесов // Успехи современного естествознания. 2021. № 2. С. 51—63. DOI 10.17513/use.37574.

17. **Низамутдинов Т. И., Колесникова Е. В., Алексеев Д. К.** Влияние зеленых насаждений на динамику загрязнения воздуха в городах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2021. № 1(41). С. 58—73. DOI 10.15593/2409-5125/2021.01.05.

18. **Славашевич М. В., Бобронников А. А., Морозов А. В., Старков А. В.** Мониторинг чрезвычайных ситуаций по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 5. С. 26—29.

19. **Богоявленский В. И.** Фундаментальные аспекты генезиса катастрофических выбросов газа и образования гигантских кратеров в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 1. С. 51—66. DOI 10.25283/2223-4594-2021-1-51-66.

20. **Вицентий А. В., Порядин Т. А.** Возможности радиологического мониторинга по данным дистанционного зондирования земли из космоса // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная: мат. IV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 85-летию БГИТА, Брянск, 03—05 июня 2015 г. / БГИТА; Студенческое научное общество ФГБОУ ВПО "БГИТА". — Брянск: БГИТА. 2015. С. 8—10.

21. Официальный сайт государственной корпорации по космической деятельности "Роскосмос" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru> (дата обращения: 22.04.2022).

22. Научный центр оперативного мониторинга Земли. Заказ данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ntsomz.ru/zakaz/data/> (дата обращения: 22.04.2022).

23. **Алексеев Я. В.** Применение данных дистанционного зондирования Земли российской орбитальной группировки космических аппаратов для обеспечения эффективных управленческих решений в системе антикризисного управления в чрезвычайных ситуациях // сб. тез. док. XIV Всероссийской открытой конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса": Электронный сборник тезисов докладов, Москва, 14—29 ноября 2016 г. — М.: Институт космических исследований РАН. 2016. С. 417.

24. Геоинформационная система МЧС "Космоплан" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.scanex.ru/thematic/projects/kosmoplan/> (дата обращения: 22.04.2022).

25. В Минобороны назвали количество российских спутников на орбите [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tvrzvezda.ru/news/2021104813-b0CSZ.html>. (дата обращения: 22.04.2022).

26. Запуск новейшего российского радиолокационного спутника перенесли на год [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.gazeta.ru/science/news/2021/05/29/n\\_16035806.shtml](https://www.gazeta.ru/science/news/2021/05/29/n_16035806.shtml). (дата обращения: 22.04.2022).

27. К 2025 году российская орбитальная группировка спутников наблюдения Земли увеличится до 28 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/kosmos/13018991/> (дата обращения: 22.04.2022).

28. Спутник "Ресурс-П" №1 вывели из состава группировки после отказа бортовой аппаратуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/kosmos/13463387> (дата обращения: 22.04.2022).

29. Геопортал данных ДЗЗ Роскосмоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/25638/> (дата обращения: 22.04.2022).

30. Официальный сайт научного центра оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ntsomz.ru> (дата обращения: 22.04.2022).

31. Официальный сайт общества с ограниченной ответственностью инновационно-технологического центра "Сканэкс" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://new.scanex.ru/> (дата обращения: 22.04.2022).

32. Официальный сайт общества с ограниченной ответственностью "Совзона" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sovzond.ru> (дата обращения: 22.04.2022).

33. **Шемякин А. С., Яковлев С. Ю., Маслобоев А. В.** Информационное обеспечение систем управления промышленно-экологической безопасностью: концептуальные основы и практические приложения // Экономика. Информатика. 2020. № 47(4). С. 828—841.

## Information support for technosphere safety in the arctic regions using Earth remote sensing data

<sup>1,2</sup>A. V. VICENTY, <sup>1,2</sup>S. Yu. YAKOVLEV, <sup>1</sup>A. S. SHEMAKIN

<sup>1</sup> Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling - Subdivision of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the RAS", Apatity, Murmansk region, Russia

<sup>2</sup> Apatity branch of Murmansk Arctic State University, Apatity, Murmansk region, Russia

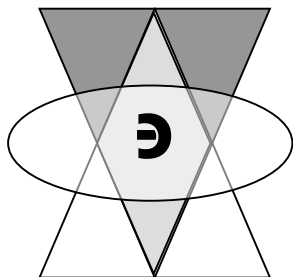
*The industrial-environmental safety management of the Russian Federation polar regions is an urgent and complex scientific and technical problem. The general approach to solving such problems is the use of modern information technologies and technical means. One of such components seems to be remote space sensing. The article is of an overview nature and is devoted to the possibilities and features of using this toolkit in the interests of safety managing, primarily technospheric, in the Arctic regions of the Russian Federation.*

**Keywords:** industrial and environmental safety, Arctic regions, information support, space sensing data.

**Bibliography** — 33 references.

*Received June 30, 2022*





## Общие вопросы

УДК 697.92: 631.22.018  
DOI: 10.52190/2073-2589\_2022\_3\_58  
EDN: TCAXGC

### Об эффективности применения биодеструкторов запахов на свиноводческих комплексах

М. С. КОЛЕСНИКОВ, Т. Н. ИЛЬИНА, д-р техн. наук;  
А. Ю. ФЕОКТИСТОВ, канд. техн. наук

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова,  
г. Белгород, Россия

*Показана целесообразность использования биодеструкторов запаха для повышения экологической безопасности на территории свиноводческих комплексов. Исследования проводили с использованием субстрата с максимальной концентрацией патогенного органопотенциала из ванн в корпусе откорма свиней свиноводческого комплекса. Установлено, что для удаления сероводорода целесообразно применять биодеструкторы "Экомик про-В" и "Эминекст", эффективность которых составляет около 98 %. Эффективность удаления аммиака с помощью этих препаратов составляет не более 20 %.*

**Ключевые слова:** биодеструкторы запаха, биоремедиация, свиноводческие комплексы, аммиак, сероводород.

Вредные выделения от навоза негативно влияют на здоровье человека, так как содержат не только аммиак и сероводород, но и спектр органических и химических соединений, вызывающих головные боли, интоксикацию, общее ухудшение самочувствия, снижающие защитные функции организма. Естественные микробиологические процессы начинают разрушать навоз с образованием летучих продуктов распада практически немедленно после дефекации животного. По санитарным нормам прежде чем свежий свиной навоз перепреет и станет удобрением, его полагается выдержать в навозосборнике-лагунах до трех с половиной лет. В процессе хранения навозные стоки выделяют в атмосферу сероводород,

аммиак, газообразные продукты разложения навоза, распыленные в газообразной среде микроорганизмы [1].

В помещениях откорма с ваннами навозостоків практически невозможно получить высокую эффективность (до 95 %) удаления дурнопахнущих веществ по ряду причин, к которым относятся:

- недостаточный уровень вентилирования, особенно в летний период с практическим отсутствием уноса летучих выделений над зеркалом ванн;
- высокие фоновые загрязнения из-за возврата газовых выбросов с крыш обратно во фрамуги приточной вентиляции. Практическое отсутствие рассеивания в летний период (короткие трубы вентиляционных выбросов, наличие дефлекторов) обуславливает высокий фоновый загрязнительный эффект внутри корпусов откорма;
- большое количество и концентрация патогенной дурнопахнущей органики в ваннах субстрата;
- наличие остаточных концентраций от периодической антибактериальной обработки помещений и ванн, что убивает часть полезных бактерий, исключая их размножение [2, 3].

Для решения проблемной ситуации без значительных инвестиций на применение техногенных

---

Колесников Максим Сергеевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.  
E-mail: makskol97@mail.ru  
Ильина Татьяна Николаевна, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.  
E-mail: ilina50@rambler.ru  
Феоктистов Алексей Юрьевич, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.  
E-mail: alexwolf79@mail.ru

Статья поступила в редакцию 20 июня 2022 г.

© Колесников М. С., Ильина Т. Н., Феоктистов А. Ю., 2022

технологий с высокими затратами предлагается комплексная технология биоремедиации для дегазации выбросов и сокращения сроков карантинирования, обеззараживания и повышения полезности утилизации переработанных стоков на полях.

### Основная часть

Биоремедиация — это технология, в основе которой лежит мощный природный механизм очистки экосистем от загрязнений с достижением биологического и экологического равновесия планеты и круговорота веществ [4].

Комплексная технология биоремедиации с применением биодеструкторов — это совокупность микробиологических средств и прежде всего, метод и технология их применения с выявлением максимальной эффективности использования.

Интенсивность вредного воздействия дурнопахнущих летучих веществ на организм и обоняние человека, в целом на социально-санитарно-общественное состояние, с причинно-следственной связью многочисленных жалоб населения зависит от [1]:

- сброса и утилизации навозосток на поля — 100 %;
- от выбросов вентиляционных систем свинокомплексов. При определенных погодных условиях (розы ветров, давления, влажности и т. д.) — это до 60—70 % интенсивности распространения запахов;
- запахи от лагун и в зависимости от их обработки, времени года и сроков карантинирования стоков в ваннах — это не более 5—10 %.

Навоз и навозные стоки должны быть подвергнуты обработке: механической (с последующим компостированием твердой фракции) и биологической, при которой распад органического вещества происходит в результате жизнедеятельности микроорганизмов, разлагающих органические соединения до конечных продуктов минерализации.

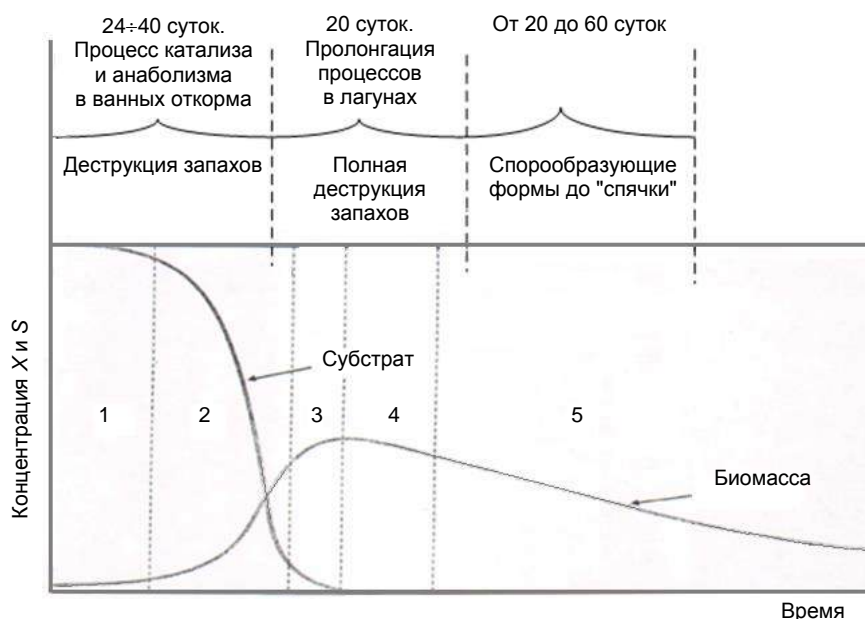
Анализ опыта белорусских ученых по деструкции запахов в корпусах дорастивания показали высокую эффективность по удалению аммиака, сероводорода, меркаптана и ХПК до 80 % с использованием белорусского биодеструктора "Бактосток" (опыты 2013—2014 гг.) в дозировках 100 мл концентрата на 1 м<sup>3</sup> субстрата.

Анализ рынка биопрепаратов, применяемых в Белгородской области, и результатов их опытно-промышленных испытаний (ОПИ) для биоремедиации стоков в лагунах показал сравнительно одинаковую эффективность по гидролизации и обеззараживанию стоков с уменьшением осадков и снижения уровня запахов. Это обусловлено тем, что в основе всех применяемых биопрепаратов используется сообщество из 6—8 известных штаммов (*Bacillus subtilis*, *ацидофильные лактобактерии* и *бифидобактерии*) с титром до 10 степени концентрации.

Также было установлено, что в Белгородской области на различных свиноводческих комплексах применяют следующие биопрепараты деструкторы: "Эмбионик" — 1 предприятие, "Бактофор-3" — 5 предприятий, "Санвит-К" — 4 предприятия, "Санвит-К-форте" — 1 предприятие, "Доктор Робик LGN 050" — 1 предприятие, "УБП Биус" — 1 предприятие, "Экомик Про В" — 1 предприятие. Два предприятия не используют биодеструкторов совсем [4].

Основной целью проведения лабораторных испытаний является определение эффективности влияния биодеструктора на снижение или устранение эмиссии запахов в ваннах субстрата корпусов откорма.

Известно, что при внесении микроорганизмов в питательную среду они обычно растут до тех пор, пока содержание питательных веществ не достигнет минимума, после чего рост прекращается [2]. Процесс роста и размножения микроорганизмов в такой системе происходит в несколько фаз и описан графиком изменения концентрации биомассы и концентрации субстрата (рисунок).



Развитие культуры бактерий (изменение концентрации биомассы и концентрации субстрата)

**Фаза 1** — фаза катализа и адаптации биокультуры к субстрату. Синтезируются ферменты питания, необходимые для метаболизации (разложения) субстрата. На этой фазе отсутствует размножение (клеточная репродукция).

**Фаза 2** — экспоненциального роста полезной бактериальной культуры (максимально интенсивно-взрывной при сходе вида культур и органопотенциала субстрата). Рост прогрессирует пока есть достаточное количество питания (субстрата). Это процесс анаболизма (размножения).

**Фаза 3** — замедление роста. Данный процесс замедления анаболизма свидетельствует о истощении среды субстрата, элементов питания. На замедление роста действует и накопление в клетках ингибиторов, образующихся в ходе собственного метаболизма бактерий.

**Фаза 4** — максимальный рост достигнут и общий рост клеток прекращается, даже если они сохраняют свою метаболическую активность. Отмирание и синтез бактерий уравнивается.

**Фаза 5** — эндогенная фаза деградации с уменьшением концентрации живых клеток с переходом процесса в режим спорообразующего "сна".

Все фазы жизнедеятельности бактерий присущи как аэробной, так анаэробной и аноксидной среде с более высокой интенсификацией процессов развития в аэробной среде и в условиях повышенных температур до 50 °С. Фазы № 1, 2 — протекают в ваннах навозосток, а фазы № 3, 4, 5 — в лагунах карантирования субстрата.

Исходя из вышесказанного целесообразно обеспечить интенсивность фазы № 2 в ваннах корпусов повышенного содержания патогенного субстрата, а фазу № 3 продолжить в лагунах с достижением высокого эффекта гидролиза. При утилизации очищенных стоков на полях спорообразующие формы полезных микроорганизмов при поступлении определенной патогенности "проснутся" и увеличат удобрильную способность, залечивая почву и повышая ее плодородность, — это и есть основные цели и задачи достижения положительных результатов опытно-промышленных испытаний [3].

### Материалы и методы

Объектами исследований являлись препараты: "Экомик Про-В" (препарат № 1), "Эмбионик" (препарат № 2), "Бактофор-3" (препарат № 3), "Санвит" (препарат № 4), "Санвит-К" (препарат № 5) и "Эминекст" (препарат № 6).

Биопрепарат "Экомик Про-В" специально разработан для применения в условиях промышленного свиноводства, животноводства и птицеводства, обладает высокой ферментативной активностью, содержит в своем составе микроорганизмы *Bacillus* spp., *Lactobacillus* spp. И *Candida* sp., культурную жидкость и комплекс биологически активных веществ и ферментов, которые способны расщеплять сложные органические вещества, в том числе целлюлозу и клетчатку. Бактерии, входящие в состав биопрепарата, используют в качестве источников питания ор-

ганические вещества навоза и интенсифицируют аэробные процессы их разложения, при этом подавляя развитие патогенной микрофлоры и гельминтов.

Препарат "Эмбионик" — микробиологический препарат, предназначенный для ускоренного компостирования органических остатков (отходов птицеводства и животноводства). Данный препарат содержит следующие микроорганизмы: *Lactobacillus parabuchneri*, *Lactobacillus harbinensis*, *Candida ethanolica*, *Rhodopseudomonas sphaeroides*, *Rhodopseudomonas palustris*.

"Бактофор-3" — экологически чистый бактериальный препарат нового поколения, в основу которого входит ассоциация бактерий, состоящая из аэробных и анаэробных ферментов, включая *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Polymyx*, *Aspergillus* и *Nocardia*. Бактерии выделены из природных условий и отобраны по признаку наиболее активной деструкции свиных стоков. В состав, кроме штаммов-микроорганизмов, входят активные ферментные системы, минеральные и органические компоненты, которые активизируют процесс деструкции и локализации стоков.

Биологически активные добавки "Санвит" и "Санвик-К" — комплексные биопрепараты, содержащие консорциум полезных и эффективных микроорганизмов, ферментов, органических кислот и других биологически активных веществ.

Микробиологический препарат серии "Эминекст" — препарат универсального действия, в состав которого входят:

- биологически активные вещества (аминокислоты, витамины, ферменты);
- органические кислоты (в том числе молочная кислота);
- активные группы микроорганизмов (фотосинтетики, молочнокислые, актиномицеты, дрожжи, ферментирующие грибы);
- минерально-адсорбентный комплекс.

Механизм действия препарата: при внесении препарата микроорганизмы используют органику (помет, навоз и т. п.) в качестве источника энергии, размножения. В результате деятельности препарата в объект выделяются стерилизаторы, таким образом он становится обеззараженным. Органика перерабатывается в более безопасный для окружающей среды продукт с низким классом опасности. По окончании процесса ферментации любой органики микроорганизмы теряют свою жизнеспособность, в том числе и к размножению.

Для проведения испытаний были приобретены 6 универсальных емкостей по 10 литров с трансформацией их в аналог ванн субстрата навозосток корпусов откорма.

Далее произвели отбор высококонцентрированного свежего субстрата из ванны в корпусе откорма на последней стадии выращивания до убойных кондиций, т. е. субстрат с максимальной концентрацией патогенного органопотенциала на свиноводческом комплексе "Оскольский Бекон-3". Отбираемые навозосток для лабораторных испытаний содержали 20—30 % осадка, отбираемого из зоны дефекации свиней в ванны.

В универсальных емкостях в крышку ввинчиваются два штуцера, через которые затем пропускаются с плотным прилеганием гибкие шланги. Через один шланг с зажимом в моменты отбора проб нагнетается воздух, второй (без зажима) со свободным выходом является воздушником и подсоединяется к газоанализатору в момент анализа проб.

Температурный фактор помещений должен быть не менее 24—25 °С и поддерживается электронагревателем. Дозировка рабочих растворов производится микробюреткой в соответствии с регламентом расхода препарата на 1 м<sup>3</sup> навозостока после пересчета дозировки на 7,5 л. испытуемого субстрата.

В каждую емкость после проведения базового замера (до внесения биодеструкторов) вводится препарат в расчётном количестве. Экспозиция отбора проб на контрольные анализы производится каждые 4 дня.

Для проведения анализа снимается зажим, организуется одномоментная прокачка воздуха компрессором в емкость с последующим проведением анализов через воздушник (при работающем компрессоре до завершения анализа), после чего компрессор отключается и нагнетательный шланг перехватывается зажимом.

Для оценки содержания вредных веществ в емкостях со стоками выполнены измерения концентрации угарного газа (СО), двууглекислого газа (СО<sub>2</sub>), оксида

серы (SO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>), сероводорода (H<sub>2</sub>S) аммиака (NH<sub>3</sub>). Для измерения концентрации газов использовались газоанализаторы СЕАН П-4. Результаты измерений концентрации газов приведены в таблице.

#### Результаты измерений концентрации газов

Анализ результатов исследования показал, что наиболее эффективно препараты удаляют сероводород H<sub>2</sub>S и аммиак NH<sub>3</sub>. Наилучшие результаты по комплексному удалению вредностей показали препарат № 1 "Экомик Про-В" и препарат № 6 "Эминекст".

Так, например, эффективность удаления сероводорода H<sub>2</sub>S составила:

- для препарата № 1 ("Экомик Про-В") — 96,8 %;
- для препарата № 6 ("Эминекст") — 98,6 %.

- для остальных препаратов ("Эмбионик", "Бактофор-3", "Санвит" и "Санвит-К") эффективность также находится в пределах 98 %.

Эффективность удаления аммиака NH<sub>3</sub> составила:

- для препарата № 1 ("Экомик Про-В") — 21,4 %;
- для препарата № 6 ("Эминекст") — 22,2 %;

- остальные препараты ("Эмбионик", "Бактофор-3", "Санвит" и "Санвит-К") по данному показателю не дали положительных результатов.

Результаты и обсуждения

		CO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	CO, мг/м <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>	CH <sub>4</sub> , мг/м <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> , мг/м <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Препарат № 1	день 1	4,70	17,3	1,1	0,14	52,8	60,0	15,4
	день 5	1,38	5,0	1,1	0,56	36,2	0,7	14,4
	день 9	1,51	2,3	0,2	0,00	52,2	1,4	20,1
	день 13	0,89	0,2	1,4	0,00	36,1	3,6	20,2
Препарат № 2	день 1	4,38	20,8	1,4	0,03	23,9	60,0	15,8
	день 5	1,02	3,0	0,6	0,09	66,6	0,5	19,5
	день 9	0,89	2,6	0,2	0,01	53,9	0,9	19,9
	день 13	0,86	0,0	0,6	0,00	47,4	0,9	20,1
Препарат № 3	день 1	5,05	19,8	1,3	0,07	40,0	60,0	17,1
	день 5	1,21	5,6	0,5	0,20	58,2	0,6	18,6
	день 9	1,06	1,8	0,2	0,04	51,4	0,7	19,8
	день 13	0,84	0,5	0,8	0,00	38,7	3,4	20,2
Препарат № 4	день 1	4,94	19,6	1,2	0,09	15,5	60,0	15,8
	день 5	0,86	1,9	0,5	0,09	47,6	1,6	19,5
	день 9	0,57	1,0	0,0	0,01	60,2	1,1	20,2
	день 13	1,01	0,6	0,6	0,00	44,2	0,9	20,0
Препарат № 5	день 1	0,34	0,1	1,2	0,04	44,5	60,0	19,7
	день 5	0,66	0,9	0,0	0,02	49,3	0,7	20,2
	день 9	0,57	0,3	0,4	0,00	50,1	0,8	20,3
	день 13	0,54	0,1	0	0,00	57,8	0,7	20,3
Препарат № 6	день 1	0,58	0,5	0,9	0,06	63,2	60,0	20,4
	день 5	0,53	0,6	0,0	0,02	50,0	0,7	20,3
	день 9	0,57	0,3	0,5	0,00	46,6	1,1	20,2
	день 13	0,43	0,3	0,1	0,00	51,0	0,8	20,4

Таким образом, с учетом комплексного воздействия на сероводород и аммиак целесообразнее применять препараты "Экомик Про-В" и "Эминекст".

### Заключение

Исследованы биопрепараты, содержащие комплекс микроорганизмов и ферментов, которые активизируют аэробные процессы разложения органических веществ, процесс деструкции и локализации стоков, подавляя развитие патогенной микрофлоры и гельминтов и снижая поступление в окружающую среду вредных газов, а именно сероводорода и аммиака.

В результате исследования были выявлены наиболее эффективные препараты. К ним относятся "Экомик Про-В" и "Эминекст". Данные препараты целесообразно использовать для удаления сероводорода. Также эти же препараты можно применять и для удаления аммиака, но эффективность их значительно ниже.

Для разработки регламента применения биоремедиации планируется проведение опытно-промышленных испытаний в теплое время года в полукорпусах любого выделенного объекта свиного комплекса в цехах откорма.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В. В., Гордеева Т. И., Миронов В. Н., Миронова Т. Ю. Способы снижения негативного воздействия на окружающую среду от ферм крупного рогатого скота // Региональная экология. 2015. № 5(40). С. 12—14.
2. Найдено В. К. Уменьшение негативного воздействия свиноводческих предприятий на окружающую среду // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2015. № 87. С. 201—211.
3. Ильина Т. Н., Колесников М. С. Анализ способов повышения экологической безопасности животноводства // Высшая школа: научные исследования. Межвузовский международный конгресс. Москва, 10 декабря 2020 г. — М.: Изд-во Инфинити, 2020. Т. 1. С. 160—166.
4. Ильина Т. Н., Щедрина Ю. Е., Феоктистов А. Ю., Колесников М. С., Евраев Д. А. Об экологической обстановке на территории свиного комплекса "Оскольский бекон-3" // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2022. № 3. С. 32—41.
5. Колесников М. С., Ильина Т. Н., Евраев Д. А. Анализ способов организации приточно-вытяжной вентиляции на свиноводческих комплексах. // XIV международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Молодежь и научно-технический прогресс. 2021. Т. 1. С. 480—484.
6. Фурсенко С. Н. Организация воздухообмена в помещениях для содержания КРС, свиней и птицы [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://studref.com/362934/tehnika/organizatsiya\\_vozduhuobmena\\_pomescheniyah\\_soderzhaniya\\_sviney\\_ptitsy](https://studref.com/362934/tehnika/organizatsiya_vozduhuobmena_pomescheniyah_soderzhaniya_sviney_ptitsy).
7. Миронов В. Н., Гордеев В. В., Миронова Т. Ю. Очистка воздуха животноводческого помещения в культивационных сооружениях // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 4(8). С. 69—72.

## On the effectiveness of the use of odor biodestructors in pig breeding complexes

M. S. KOLESNIKOV, T. N. IL'INA, A. Yu. FEOKTISTOV

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia

*The expediency of using odor biodestructors to improve environmental safety on the territory of pig breeding complexes is shown. The studies were carried out using a substrate with the maximum concentration of pathogenic potential organs from the baths in the pig fattening housing of the pig breeding complex. It has been established that it is advisable to use biodestructors "Ecomik Pro-V" and "Eminext" for the removal of hydrogen sulfide, the efficiency of which is about 98 %. The efficiency of ammonia removal using these drugs is no more than 20 %.*

**Keywords:** odor biodestructors, bioremediation, pig breeding complexes, ammonia, hydrogen sulfide.

Bibliography — 7 references.

Received April 29, 2022

**БЛАНК-ЗАКАЗ НА ПОДПИСКУ 2022 г.**  
**на издания ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас»**

Наименование издания	Периодичность в год	Цена 1 экз., руб.	Кол-во выпусков в год	Общая сумма, руб.
Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России	4	1550,00		
Конструкции из композиционных материалов	4	1700,00		
Экология промышленного производства	4	1500,00		
Информационные технологии в проектировании и производстве	4	1750,00		
Вопросы защиты информации	4	1750,00		
<i>В цену включены: НДС — 10 % и стоимость почтовой доставки.</i>				

*Поставка журналов подписчикам через издательство осуществляется почтовыми бандеролями с приложением всех необходимых бухгалтерских документов.*

**Наши реквизиты:**

Полное наименование организации: \_\_\_\_\_

Сокращенное наименование организации: \_\_\_\_\_

ИНН/КПП \_\_\_\_\_

ОКПО \_\_\_\_\_

Расчётный счёт № \_\_\_\_\_ в \_\_\_\_\_

к/с \_\_\_\_\_ БИК \_\_\_\_\_

Юридический адрес: \_\_\_\_\_

Почтовый адрес: \_\_\_\_\_

Контактное лицо \_\_\_\_\_ тел. \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

*(Для оформления счёта и бухгалтерских документов просьба заполнить все строчки).*

**Справочно:**

Заполненный бланк-заказ просьба отправить по факсу: 8(495) 491-44-80 или

E-mail: [secretariat@ntckompas.ru](mailto:secretariat@ntckompas.ru)

Более подробную информацию об изданиях и подписке можно получить по телефону:

8 (495) 491-43-17.

E-mail: [ivleva@ntckompas.ru](mailto:ivleva@ntckompas.ru)

Адрес редакции: 125424, Москва, Волоколамское шоссе, д.77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

Экология промышленного производства: Межотр. науч.-практ. журнал / ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас», 2022. Вып. 3. С. 1—64.

Компьютерная верстка: *Н. В. Ильина, К. В. Трыкина*

Подписано в печать 02.09.2022.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 7,4 . Уч.-изд. л. 7,7.

Тираж 250 экз. Заказ 2000.

Свободная цена.

Адрес редакции: 125424, Москва,  
Волоколамское ш., 77.

ФГУП «НТЦ оборонного комплекса «Компас».

<http://ntckompas.ru>

Отпечатано: 101000, Москва,

Лубянский проезд, д. 15, стр. 4, офис 105.

ИП Кириченко Алексей Викторович.

Индекс 80090.