

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ**  
МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
(Мурманск, 2–6 апреля 2018 г.)

Текстовое электронное издание

Мурманск  
Издательство МГТУ  
2018

УДК 001: [5 + 62] (08)  
ББК 20 + 3я431  
Н 34

*Редакционная коллегия:*

М. В. Васеха, канд. техн. наук;  
С. В. Власова, д-р филос. наук, доцент;  
М. А. Волков, канд. физ.-матем. наук, доцент (ответственный за выпуск);  
С. Ю. Буряченко, заведующая кафедрой;  
Н. Е. Козлов, д-р геол.-минерал. наук, профессор;  
В. С. Малышев, канд. техн. наук, доцент;  
О. А. Федорова, канд. техн. наук, доцент

**Н 34 Наука и образование в Арктическом регионе [Электронный ресурс] :**  
мат. междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 2–6 апреля 2018 г. / Федер. гос. бюджетное образоват. учреж-дение высш. образования "Мурм. гос. техн. ун-т". – Электрон. текст. дан. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2018. – 1 опт. компакт-диск (CD-ROM). – Систем. требования: PC не ниже класса Pentium II 128, Windows 9x – Windows 10; свободное место на HDD 131 Мб ; привод для компакт дисков CD-ROM 2-х и выше.

ISBN 978-5-86185-977-6

В сборнике опубликованы доклады участников Международной научно-практической конференции "Наука и образование в Арктическом регионе", которая состоялась 2–6 апреля 2018 г. в Мурманском государственном техническом университете.

Издание предназначено для научных, научно-педагогических работников, докторантов, аспирантов, специалистов, ведущих научные исследования по направлениям работы конференции.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

PC не ниже класса Pentium II 128 MbRAM ; свободное место на HDD 131 Мб ;  
привод для компакт дисков CD-Rom 2-х и выше

УДК 001: [5 + 62] (08)  
ББК 20 + 3я431

© Мурманский государственный  
технический университет, 2018

ISBN 978-5-86185-977-6

Текстовое электронное издание

*Научное издание*

Минимальные системные требования:

PC не ниже класса Pentium II 128 Mb RAM ; свободное место на HDD 131 Мб;  
Windows 9x–Windows 8 ; привод для компакт дисков CD-ROM 2-х и выше

*Редакционная коллегия:*

М. В. Васеха, канд. техн. наук;

С. В. Власова, д-р филос. наук, доцент;

М. А. Волков, канд. физ.-матем. наук, доцент (ответственный за выпуск);

С. Ю. Буряченко, заведующая кафедрой;

Н. Е. Козлов, д-р геол.-минерал. наук, профессор;

В. С. Малышев, канд. техн. наук, доцент;

О. А. Федорова, канд. техн. наук, доцент

Компьютерная верстка Г. М. Плишко

Подписано к использованию 20.12.2018

Объем издания 11,2 Мб

Тираж 30 экз.

ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет"

183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13.

Телефон: (8152) 25–40–72 Факс: (8152) 40–35–56

E-mail: office@mstu.edu.ru

<http://www.mstu.edu.ru>

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ – ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ .....</b>	<b>8</b>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ СКОРОСТЬЮ И ПЛОТНОСТЬЮ В СЛОЯХ СЛОИСТОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ОКОЛОСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА С ПРОИЗВОЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА .....	9
<i>Рожков А. С.</i>	
РАЗРАБОТКА СОВЕТСКОЙ ПРОГРАММЫ СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ .....	17
<i>Скуфьин П. К.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ РАЗРЕЗОВ ТЕФРОИДНЫХ ПЕСЧАНИКОВ В СОВРЕМЕННЫХ И ДРЕВНИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЯХ .....	25
<i>Скуфьин П. К., Елизаров Д. В.</i>	
<b>АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА.....</b>	<b>31</b>
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВОГО РАСТВОРА .....	32
<i>Белозеров А. А., Дзапаров С. А., Коротаяев Б. А.</i>	
ОСВОЕНИЕ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА .....	37
<i>Белухин А. И.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ .....	43
<i>Гашимов С. Н. Кривотулов Р. В.</i>	
ГАЗИФИКАЦИЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ. МЕЧТА И РЕАЛЬНОСТЬ .....	46
<i>Герасимова О. В.</i>	
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ .....	53
<i>Захаренко В. С.</i>	
АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЙ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ГАЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.....	62
<i>Коротаяев Б. А.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОСЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ БИО-КОМПОНЕНТА БУРОВОГО РАСТВОРА .....	69
<i>Кочетков Д. А., Севостьянов И. Д.</i>	
РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ИНГИБИТОРОВ В МОДЕЛИ ГАЗОПРОВОДА .....	73
<i>Макиян Т. Г., Землянов Е. Г.</i>	



АНАЛИЗ РАБОТЫ ВОЗДУШНОЙ ПРУЖИНЫ.....	76
<i>Островский А. А., Велиев Р. Я. Кортаев Б. А.</i>	
ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ .....	79
<i>Тишин А. М., Антошина М. Е., Захаренко В. С.</i>	
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ ПРИ ГЛУБОКОВОДНОМ БУРЕНИИ СУДОВ И ПЛАТФОРМ ОСНАЩЕННЫХ СДП.....	81
<i>Холодов Г. Г.</i>	
<b>ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ .....</b>	<b>93</b>
ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ, НАПРАВЛЕННОЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СТУДЕНТОВ ИТ-СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В КОМПЬЮТЕРНОМ КЛАССЕ КОЛЛЕДЖА.....	94
<i>Афонин А. Н.</i>	
КОМПЕТЕНЦИИ, ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ФИЗИКЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ.....	100
<i>Власова С. В.</i>	
ОПЫТ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ АКВАКУЛЬТУРЫ В ПЕТРОЗАВОДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ.....	108
<i>Волкова А. Ю., Болгов А. Е.</i>	
О ВЛИЯНИИ ЕГЭ НА КАЧЕСТВО ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ.....	113
<i>Герасименко П. В.</i>	
ПРИНЦИП ИСТОРИЗМА В ПРЕПОДАВАНИИ АТОМНОЙ ФИЗИКИ В ВУЗЕ.....	118
<i>Михайлюк А. В., Никонов О. А., Шолохов В. С.</i>	
ВРЕМЯ В НАУЧНОЙ И ХУДОЖЕСТВЕННОЙ КАРТИНАХ МИРА.....	124
<i>Никонов О. А., Шингаров Г. Х., Келлер Г. С., Шолохов В. С.</i>	
<b>ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ: ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА И РАЗВИТИЕ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ .....</b>	<b>129</b>
ФУНДАМЕНТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЗДАНИЙ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СУРОВОГО КЛИМАТА .....	130
<i>Белаш Т. А., Михайлюк Е. Р.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТРОЙСТВ В КОТТЕДЖНОМ ДОМОСТРОЕНИИ.....	136
<i>Попова О. М.</i>	
<b>ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АРКТИКЕ .....</b>	<b>143</b>
РОЛЬ КОСЫХ АЛЬВЕНОВСКИХ ВОЛН В ФИЗИКЕ АВРОРАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ .....	144
<i>Волков М. А.</i>	
ВЕРИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В D ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ ПО МОДЕЛИ IRI И УСТАНОВКИ ЧАСТИЧНЫХ ОТРАЖЕНИЙ .....	150
<i>Гомонов А. Д., Юрик Р. Ю., Шаповалова Ю. А.</i>	

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛНОВОДА ЗЕМЛЯ-ИОНОСФЕРА ЕСТЕСТВЕННЫМИ МАГНИТОСФЕРНЫМИ СНЧ/ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЯМИ .....	156
<i>Никитенко А. С., Лебедь О. М., Ларченко А. В., Федоренко Ю. В.</i>	
КОРРЕЛЯЦИЯ МЕЖДУ НАПРАВЛЕНИЕМ ДРЕЙФА И ОРИЕНТАЦИЕЙ ПОПЕРЕЧНОЙ АНИЗОТРОПИИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ИОНОСФЕРЕ НАД МОСКВОЙ .....	163
<i>Романова Н. Ю., Панченко В. А., Телегин В. А.</i>	
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ .....</b>	<b>169</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ .....	170
<i>Васильева Ж. В.</i>	
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ИЗ РОДНИКА В ПГТ. МУРМАШИ В ПЕРИОД С 2015 ПО 2018 ГГ. ....	174
<i>Глазова В. А., Федорова О. А., Гапоненков И. А.</i>	
АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К УЧЕТУ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРИ РАСЧЕТЕ РАССЕИВАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ .....	182
<i>Дарусенкова Е. Ю., Широлина А. Ю.</i>	
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АО "ОЛКОН" (ОЛЕНЕГОРСКИЙ ГОК) .....	188
<i>Даувальтер В. А., Кашулин Н. А.</i>	
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ РОДНИКА "ФАДЕЕВ РУЧЕЙ" .....	195
<i>Кобец А. Ю., Гапоненков И. А.</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНОЙ НА ПРИМЕРЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА .....	199
<i>Крашевская А. А., Федорова О. А.</i>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИРА ИЗ ЛИПИДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЫБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	205
<i>Куркотило В. Н., Васильева Ж. В.</i>	
МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВНЕКЛЕТОЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ АКТИВНОГО ИЛА .....	210
<i>Легостаева А. С., Васильева Ж. В.</i>	
АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ .....	217
<i>Павлов А. В., Васильева Ж. В.</i>	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ АБИОТИЧЕСКИМИ КОМПОНЕНТАМИ СРЕДЫ АРКТИЧЕСКОГО ГОРНОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ .....	223
<i>Павлова А. С., Кашулин Н. А., Даувальтер В. А., Кашулина Т. Г.</i>	
АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УРБАНОЗЕМОВ ГОРОДА МУРМАНСКА И ЕГО ПРИГОРОДА .....	230
<i>Рассказова А. С., Яшкина А. А.</i>	

<b>ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ .....</b>	<b>236</b>
<b>КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ АРКТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕВОЗОК     В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ВЫЗОВОВ: РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ     ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ И МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕВОЗОК.....</b>	<b>237</b>
<i>Агарков С. А., Черных А. А.</i>	
<b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ.....</b>	<b>243</b>
<i>Баринов А. С., Малышев В. С.</i>	
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УГЛА АТАКИ ВОДЫ     НА ЛОПАСТИ ГРЕБНОГО ВИНТА СУДОВ СРТМ-К ПР. 502ЭМ .....</b>	<b>248</b>
<i>Зимнухов Е. Н.</i>	
<b>ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ВИДОВ ТОПЛИВА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ     МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ.....</b>	<b>255</b>
<i>Малышев В. С., Пантилеев С. П.</i>	
<b>ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ КУТ ЗА КОТЛАМИ,     РАБОТАЮЩИМИ НА ВОДО-МАЗУТНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ (ВМЭ) .....</b>	<b>261</b>
<i>Пантилеев С. П.</i>	
<b>УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ     НА ПРОДУВОЧНОЙ ВОДЕ ПАРОВЫХ КОТЛОВ .....</b>	<b>270</b>
<i>Пантилеев С. П.</i>	

**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ  
В АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ –  
ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ**

## Определение связи между скоростью и плотностью в слоях слоистой геологической среды околоскважинного пространства с произвольной кривизной границ раздела

**Рожков А. С.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра математики, информационных технологий и программного обеспечения ЭВМ)

**Аннотация.** Работа посвящена решению совместной обратной задачи по сейсмическим и по гравиметрическим данным.

В этой работе излагается метод определения связи между плотностью и акустической жесткостью с помощью полинома второй степени.

**Abstract.** The work is devoted to the solution of the joint inverse problem on seismic and on gravimetric data.

This paper describes a method for determining the relationship between density and acoustic rigidity with the help of a polynomial of the second degree.

**Ключевые слова:** совмещенная обратная задача геофизики, околоскважинное пространство, плотность, скорость.

**Keywords:** combined inverse problem of geophysics, vicinity of borehole, density, velocity.

### Введение

Работа [1] посвящена решению совместной обратной задачи по сейсмическим и гравиметрическим данным. Для двумерной геологической среды околоскважинного пространства решена задача определения плотности, скорости и границ в слоистой геологической среде с произвольными (криволинейными) границами раздела слоев. Предполагается, что в каждом слое известны акустическая жесткость (произведение скорости на плотность) и времена пробега сейсмических волн как функции от горизонтальной координаты  $x$ . Эти функции произвольны, т. е. на них не налагаются никакие ограничения. Известно также положение верхней границы первого слоя, на которой заданы сейсмические и гравиметрические данные. Рассматривается скважина, в каждом слое которой по данным ГИС известны плотность  $\rho$  и скорость  $V$ , связь между которыми предполагается в виде

$$V = m\rho^l, \quad (1)$$

где  $m$  и  $l$  – константы, подлежащие определению.

Данные Гарднера и др. [3] соответствуют зависимости

$$\rho = aV^{1/4},$$

где  $\rho$  выражено в  $\text{г/см}^3$ ,  $V$  – в м/с при  $a = 0,31$  и в фут/с при  $a = 0,23$ . Соль ангидрит и уголь не подчиняются этой зависимости.

Плотности, скорости и границы слоев находятся для каждого слоя как функции от горизонтальной координаты.

В этой работе все предположения остаются в силе, кроме предположения о связи между скоростью и плотностью. Теперь связь между плотностью  $\rho(x)$  и акустической жесткостью  $C(x)$  предполагается в виде  $\rho(x) = a(C(x) - C_0)^2 + b(C(x) - C_0) + \rho_0$ , а между скоростью и плотностью в виде

$$V(x) = C(x)/\rho(x) = C(x)/(a(C(x) - C_0)^2 + b(C(x) - C_0) + \rho_0),$$

где  $C_0$  и  $\rho_0$  акустическая жесткость и плотность в скважине.

Для краткости изложения пропустим в этой статье все соображения, которые будут общими как для этой статьи, так и для статьи [1].

### **Постановка задачи**

В настоящей статье приводится численное решение задачи определения, плотности, скорости и границ слоев геологической среды околоскважинного пространства как функций от горизонтальной координаты при следующих условиях.

Среда предполагается двумерной. В связи с чем, скорость  $V$  и плотность  $\rho$  будут определены как функции от двух переменных –  $V = V(x, z)$ ,  $\rho = \rho(x, z)$ . По направлению, совпадающему с осью  $OY$ , которая перпендикулярна осям  $OX$  и  $OZ$  и лежит в горизонтальной плоскости, все свойства среды предполагаются неизменными. Кроме того предполагается, что скорости и плотности в каждом пласте зависят только от координаты  $x$  и не зависят от  $z$ , что оправдано для пластов с относительно небольшой мощностью.

Положительным направлением, считается направление слева направо. По вертикали, через точку  $O$ , проходит ось  $OZ$ , направленная вниз. Имеется  $n$  слоев и для каждого  $i$ -го слоя на некотором отрезке  $[x_0, X]$  значений  $x$  известны акустическая жесткость  $C_i(x)$ , (произведение скорости на плотность), как функция от горизонтальной координаты и времена пробега сейсмических волн  $t_i(x)$ , как функции от  $x$ , т. е.  $x \in [x_0, X]$ .

Известно положение верхней границы первого слоя –  $z_1(x)$ , на которой замерены сейсмические и гравиметрические данные, а также гравитационный эффект от всей залегающей ниже толщи пород. Глубина верхней границы  $i$ -го слоя определяется как  $z_i(x)$ . Общее число границ, которые разделяют отдельные слои, будет равно  $n + 1$ .

Пусть, имеется скважина, расположенная в точке с горизонтальной координатой  $x_0$ . По данным ГИС в каждом  $i$ -м пласте плотности и скорости известны в точках с той же горизонтальной координатой  $x_0$ . Плотности по данным ГИС могут быть значительно уточнены моделированием сейсмического поля и подбором таких плотностей в модели, при которых реальное и модельное поля наиболее близки друг к другу. Для этого используется вертикальное сейсмическое профилирование.

Отрезок  $[x_0, X]$  на оси  $OX$  разбивается на  $n-1$  частей точками с координатами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , по оси  $OX$  равными  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , являющимися координатами пикетов на которых размещены сейсмоприемники и пункты гравиметрических измерений.

$$(x_1 = x_0) < x_2 < \dots < x_{n-1} < (x_n = X). \quad (1)$$

Расстояние между пикетами, предполагается одинаковым, что, однако, не обязательно (рис. 1).

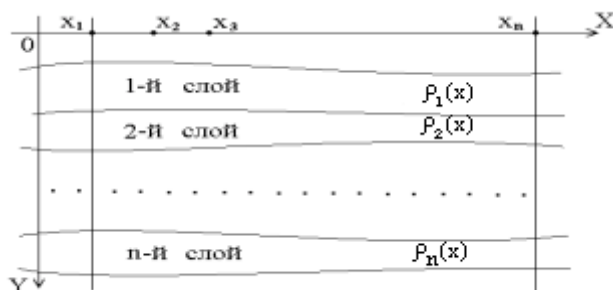


Рисунок 1 – Расстояние между пикетами

В работе [1] скорость  $V$  и плотность  $\rho$  связываются равенством (1), в котором  $m$  и  $l$  константы подлежащие определению.

Рассмотрим функцию  $\rho(C)$  – связь между плотностью и акустической жесткостью, и разложим ее в ряд Тейлора в точке  $C_0$  – значение акустической жесткости в скважине.

Получим

$$\dots + \dots + \dots + \dots$$

Здесь производные берутся по переменной  $C$ .

Взяв первые три члена ряда, получим (во втором приближении), с учетом нелинейности этой связи приближенное равенство:

$$\dots + \dots$$



Обозначим  $\rho_i(x)$ ,  $\rho_i(x_0) = \rho_{i0}$ ,  $C_i(x)$ ,  $C_i(x_0) = C_{i0}$ , где  $\rho_{i0}$  – известное значение плотности в скважине и получим уравнение

Так как  $\rho_i(x) = \rho_{i0} + \Delta\rho_i(x)$  то

$$\rho_i(x) = \rho_{i0} + \Delta\rho_i(x) \quad (1)$$

Константы  $a$  и  $b$  подлежат определению.

Обозначим  $V_i(x) = V_i$ ,  $V_i(x_0) = V_{i0}$ ,  $C_i(x) = C_i$ ,  $C_i(x_0) = C_{i0}$ ,  $\rho_i(x) = \rho_i$ ,  $\rho_i(x_0) = \rho_{i0}$  для каждого  $i$ -го пласта. В силу вышесказанного в точке  $x_0$  плотность  $\rho_{i0}$  в скважине для каждого  $i$ -го слоя известна.

Тогда из этих формул получим:

$$\rho_i(x) = \rho_{i0} + \Delta\rho_i(x) \quad (2)$$

$$\rho_i(x) = \rho_{i0} + \Delta\rho_i(x) \quad (3)$$

где  $\Delta\rho_i(x)$  и  $\Delta\rho_i(x_0)$  – искомые константы для  $i$ -го слоя.

Для дальнейшего найдем приближенные начальные значения неизвестных величин  $\Delta\rho_i(x)$  и  $\Delta\rho_i(x_0)$  используя данные Гарднера [3]. Как было сказано выше, в [3] была выведена зависимость  $\rho = aV^{1/4}$ , где  $\rho$  выражено в г/см<sup>3</sup>,  $V$  – в м/с при  $a = 0,31$  и в фут/с при  $a = 0,23$ .

По этой формуле рассчитаем приближенно плотность  $\rho_{i0}$ , в двух каких-нибудь точках слоя с координатами по оси ОХ  $x_1$  и  $x_2$ . В этих точках нам известны значения акустической жесткости. Поэтому, используя формулу (2) получим два линейных уравнения с двумя неизвестными  $\Delta\rho_i(x_1)$  и  $\Delta\rho_i(x_2)$ :

Итак, решая эту систему для каждого слоя, мы получим начальные приближения искомым  $\Delta\rho_i(x_1)$  и  $\Delta\rho_i(x_2)$ , которые нам пригодятся в дальнейшем.

### Алгоритм вычисления плотности, скорости и границ слоистой геологической среды

Формулы для вычисления составляющих притяжения по осям ОХ, ОУ, ОZ, для горизонтального цилиндра с прямоугольным поперечным сечением даны в книге [2] формула (2.14).

В двумерном случае, когда плотность зависит только от координаты  $x$  (рис. 2), формула для аномалии силы тяжести приобретает вид:

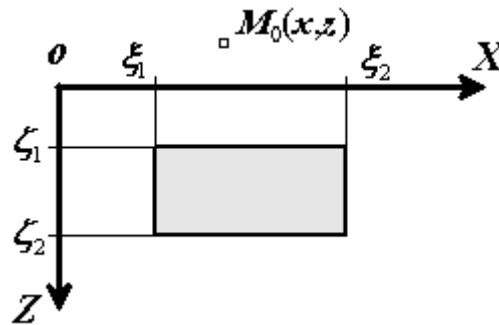


Рисунок 2 – вычисления составляющих притяжения по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$

$$(4)$$

Формула (4) дает гравитационный эффект от пласта ограниченного верхней границей  $z_i$  и нижней  $z_{i+1}$ . Таким образом, остается суммировать гравитационный эффект от каждого пласта для каждого пункта измерений.

Так как переменная  $x$  в (2) соответствует переменной  $x$  в (4), то заменив переменную  $x$  на переменную  $x$  и подставив (2) в (4) получим для  $i$ -го слоя.

$$(5)$$

Здесь  $\Delta g_i(x, z)$  – гравитационный эффект в точке с координатами  $(x, z)$  от  $i$ -го слоя, а  $z_{i1}$  и  $z_{i2}$  – нижняя и верхняя границы  $i$ -го слоя, которые надо определить. Выразим их через скорости и времена пробега в слоях:  
 $H_i(x) = V_i(x)t_i(x) \quad i = 1, 2, \dots, n.$

Пусть все пикеты находятся на одном и том же уровне  $z = 0$ . Тогда

$$\begin{aligned} z_{11} &= 0. \\ z_{12} &= V_1(x)t_1(x) = z_{21} \\ z_{22} &= V_1(x)t_1(x) + V_2(x)t_2(x) = z_{31} \end{aligned} \quad (6)$$

Теперь глубины границ выражены через известные времена пробега и неизвестные скорости в слоях. Но из формулы (3) следует, что скорости в слоях являются функциями от неизвестных величин  $t_i$  и  $H_i$ . Поэтому нижняя и верхняя границы каждого  $i$ -го слоя, т. е. функции  $z_{i1}$  и  $z_{i2}$  также являются функциями от неизвестных величин  $t_i$  и  $H_i$ .

Суммируя гравитационный эффект в точке с координатами  $(x, z)$  от всех слоев и считая, что гравитационные аномалии заданы на одной и той же высоте  $z = 0$ , получим для  $j$ -го пикета в точке  $(x, 0)$  по формуле (5)

---

где  $R(x, 0)$  часть наблюдаемого гравитационного эффекта, фиксируемого в  $j$ -м пикете, которую дает исследуемая нами пачка слоев,  $x_j$ -горизонтальная координата, а  $z = 0$  вертикальная координата  $j$ -го пикета. Наблюдаемый гравитационный эффект, фиксируемый в  $j$ -м пикете, представляет собой сумму двух слагаемых. Одно из них  $R(x, 0)$ , второе – гравитационный эффект от оставшейся нижней толщи. Обозначим гравитационный эффект от нижней толщи в  $j$ -м пикете  $F(x, 0)$ , а наблюдаемый гравитационный эффект  $G(x, 0)$ . Тогда для  $j$ -го пикета имеем

$$G(x, 0) = R(x, 0) + F(x, 0).$$

Для дальнейшего решения будем аппроксимировать гравитационный эффект нижней толщи  $F(x, 0)$  многочленом.

Оценим степень этого многочлена и найдем его.

Гравитационный эффект  $R(x, 0)$  рассчитаем, например, так, как это было сделано в [1], используя формулу Гарднера. Затем рассчитаем с этими значениями  $k_i$  гравитационный эффект  $R(x, 0)$ . Зная  $G(x, 0)$  и вычитая из  $G(x, 0)$  вычисленный приближенно гравитационный эффект  $R(x, 0)$  – найдем приближенно гравитационный эффект от нижней толщи в  $j$ -м пикете  $F(x, 0)$ .

После этого мы можем найти наименьшую степень многочлена, при которой многочлен удовлетворительно аппроксимирует функцию  $F(x, 0)$ . Для простоты дальнейших рассуждений предположим, степень многочлена равна единице, т. е. функция  $F(x, 0)$  ведет себя линейно. В случае другой степени многочлена все рассуждения проводятся аналогично. В найденном многочлене первой степени  $F(x, 0) = ax + b$  зафиксируем найденные приближенно числа  $a$  и  $b$ .

Пусть  $a = A, b = B$ .

Эти числа  $A$  и  $B$  мы, в дальнейшем используем в качестве первого приближения.

Теперь примем, что в модели среды, которую мы изучаем, неизвестный нам гравитационный эффект нижней толщи  $F(x_j)$  является многочленом первой степени. Приближенно он равен  $F(x_j) = ax_j + B$ .

Запишем  $G(x_j) = ax_j + b$ , где  $a$  и  $b$  новые неизвестные, которые вместе с неизвестными величинами  $x_j$  и  $x_{j+1}$  составляют  $2n + 2$  неизвестных, для нахождения которых потребуется  $2n + 2$  уравнений и, следовательно,  $2n + 2$  пикета. Слоев потребуется то же количество, т. е.  $n$  слоев. Так как для  $j$ -го пикета  $G(x_j) = R(x_j) + F(x_j)$ , то

---

Обозначим  $l = 2n + 1$ ,  $m = 2n + 2$ . Переносим  $G(x_j)$  в правую часть и записывая последнее уравнение для каждого  $j$ -го пикета в отдельности, получим нелинейную систему из  $2n + 2$  уравнений:

---

---

---

---

с  $2n + 2$  неизвестными  $x_j$  и  $x_{j+1}$ ,  $a, b, i = 1, 2, \dots, n$ .

Решая ее, как и в [1], найдем неизвестные  $\rho_i$  и  $v_i$ .

Затем, используя формулу (2) найдем искомые плотности  $\rho_i$  как функции от координаты  $x$  в каждом  $i$ -м слое.

### **Библиографический список**

1. Рожков А. С. Определение плотности, скорости и границ слоистой геологической среды околоскважинного пространства с криволинейными границами раздела Журнал "Геофизические исследования", 2016, том 17, № 4, с. 67–77. DOI: 10.21455/gr2016.4-6.

2. Веселов К. Е., Сагитов М. У. Гравиметрическая разведка. – М., Издательство "Недра", 1968. – 512 с.

3. Gardner G. H. F., Gardner L. W., Gregory A. R. Formation velocity and density – the diagnostic basics for stratigraphic traps. Geophysics, vol 39, 1974, p. 770–849.

## Разработка советской программы сверхглубокого бурения

Скуфьин П. К. (*г. Апатиты, Геологический институт КНЦ РАН*)

**Аннотация.** В статье приводятся детали разработанного в СССР в конце 1960-х гг. проекта сверхглубокого бурения. Программой работ намечалась разработка модели строения земной коры, а также новых методов прогноза месторождений полезных ископаемых. Всего было пробурено 10 скважин глубиной 6–9 км, самой глубокой из которых была Кольская скважина с рекордной глубиной 12262 м.

**Abstract.** The article describes the details of a super deep drilling project developed in the USSR in the late 1960s. The program of work outlined the development of a model of the structure of the earth's crust as well as new methods for forecasting mineral deposits. In total, 10 wells with a depth of 6-9 km were drilled, the deepest of which was the Kola well with a record depth of 12,262 m.

**Ключевые слова:** сверхглубокое бурение, буровая скважина, земная кора, мантия, Кольская скважина.

Key words: superdeep drilling, borehole, earth crust, mantle, Kola well.

В конце 1960-х гг. Академией наук СССР и Министерством геологии СССР была разработана программа по изучению недр Земли с помощью сверхглубокого бурения. Для организации работ был образован Межведомственный научный совет по проблеме "Изучение недр Земли и сверхглубокое бурение", который объединил около 200 крупных ученых и специалистов различных министерств и ведомств. Первым председателем Совета был Министр геологии СССР академик А.В. Сидоренко, а с 1974 г. – Министр геологии СССР Е. А. Козловский. Программой работ на 70-е гг. намечалась разработка модели строения земной коры и верхней мантии, а также новых методов прогноза месторождений полезных ископаемых. В развитие данной проблемы был разработан принципиально новый технический и методический подход к решению регионального глубинного строения земной коры и верхней мантии, основанный на комплексировании данных сверхглубокого бурения, а также сейсмического глубинного зондирования и других геофизических и геохимических методов. Головной организацией в осуществлении намеченных задач было определено Мингео СССР, а для реализации программы привлечено более 150 научных и производственных организаций этого министерства, АН СССР, академий союзных республик, отраслевых

министерств и ведомств. По программе к бурению были намечены в первую очередь Кольская и Саатлинская сверхглубокие скважины. 24 мая 1970 г, в юбилейный год 100-летия со дня рождения В. И. Ленина, на С-3 Кольского полуострова началось бурение Кольской сверхглубокой буровой скважины (СГ-3) – самой глубокой в опорной сети сверхглубоких (глубже 5 км) скважин, пройденных в главных рудных р-нах СССР в 1970-90 г.г. По рекомендации академика РАН А.В. Сидоренко, СГ-3 была пробурена в Печенгском рудном р-не, где сформировались крупнейшие в Европе месторождения Cu-Ni руд. СГ-3 расположена в 10 км к Ю-З от г. Заполярный (69°23'46"с. ш., 30° 36' 31" в.д.), где развиты древнейшие рудоносные тектонические структуры протерозоя и архея.



Рисунок 1 – Кольская сверхглубокая буровая скважина (СГ-3)

При проектной глубине 15 км, к 1990 г. скважина должна была достигнуть глубины 13 км. В отличие от глубоких скважин, используемых для добычи и разведки нефтяных залежей, СГ-3 изначально была рассчитана для получения научной информации о строении земной коры континентального типа, в том числе для изучения границы Мохоровичича между земной корой и мантией. Бурение Кольской скважины было поручено специально организованной Кольской геологоразведочной экспедиции (Кольская ГРЭ) численностью около 3 тыс. человек, бессменным руководителем которой был назначен академик РАН Д. М. Губерман. Именно ему принадлежит заслуга по успешной реализации программы бурения. В подготовке и организации бурения участвовали 18 НИИ и более 50 крупных предприятий СССР. Все механизмы и материалы были и отечественного происхождения. СГ-3 была



в СССР секретным объектом, миру о ней вскользь сообщили только в 1975 г., когда в "Правде" была опубликована статья министра геологии А. В. Сидоренко. Ни одной научной публикации до распада СССР так и не появилось, хотя на скважине работали 16 исследовательских лабораторий, которые курировались лично министром геологии. 6 июня 1979 г. скважина побила рекорд в 9 583 м, ранее принадлежавший скважине "Берта-Роджерс" (нефтяная скважина в Оклахоме, США), достигнув отметки 9 584 м. В дальнейшем рекордная глубина проходки всё увеличивалась. Сложные условия бурения, высокие температуры на забое, доходившие на глубине 12 км до 220 °С, приводили к неоднократным авариям, обрывам и потере бурового оборудования. Потерянная часть буровой колонны цементировалась, вертикальное бурение продолжалось, с отклонением бурового инструмента в месте обрыва, в результате чего ниже базовой глубины 7 км были пройдены пять параллельных стволов СГ-3. В 1990 г. бурившийся параллельный ствол СГ-3 достиг рекордной глубины 12 262 м. Коллектив СГ-3 готовился к достижению глубины 14 км, но буровая колонна снова оборвалась, и по решению правительства бурение было прекращено.



Рисунок 2 – Заваренное отверстие ствола скважины СГ-3

В 1991 г. предприятие получило статус Научно-производственного центра "Кольская сверхглубокая". В 1995–2007 гг. НПЦ функционировал в статусе

Кольской глубинной геологической лаборатории, на базе которой более 20 стран выполняли исследования по интернациональным проектам ЮНЕСКО и Международного геологического союза. В последующие годы, в связи с финансовыми трудностями был решен вопрос об окончательном закрытии Кольской глубинной геологической лаборатории, хотя разработанные специалистами проекты дальнейших работ могли принести стране огромные прибыли при сравнительно небольших затратах: к моменту закрытия бюджет НПЦ составлял 3 млн руб. в год. В 2008 г. СГ-3 была законсервирована, оборудование частично демонтировано, а частично расхищено на металлолом, сама вышка и производственные сооружения превратились в руины.

СГ-3 по-прежнему остается самой глубокой вертикальной буровой скважиной мира в кристаллических породах, хотя по длине её обошла пробуренная под острым углом к поверхности земли в 2008 г. нефтяная скважина Maersk Oil BD-04A, длина которой 12 290 м (находится в нефтяном бассейне Аль-Шахин, Катар), а также скважина месторождения Одопту-море проекта Сахалин-1 длиной 12 345 м, пробуренная в 2011 г., также под острым углом к поверхности земли. Проникновение на глубину более 12 км в монолитных породах и ее преодоление в современных условиях по затратам сопоставимо с выполнением крупной космической программы. СССР проект обошелся в 400 млн руб. С учетом того, что государство, выполняя этот престижный проект, практически не считалось с затратами, выполнение проекта вертикального бурения в монолитных породах до глубины 14–15 км в настоящее время потребует колоссальных усилий и затрат в несколько млрд. долларов. Можно констатировать, что закрытие скважины – крайне опростетчивое решение. Неясно, зачем страна отказалась от идеи создания на ее базе важной лаборатории по изучению геологических процессов в земной коре. Стоимость восстановления СГ-3 – около ста миллионов рублей. На данный момент можно восстановить научную значимость СГ-3 и в частности открыть научно-производственный центр для обучения специалистов по глубинному бурению. У скважины есть рабочий ствол диаметром 20 см до глубины 4 км, далее ствол диаметром 10 см продолжается до глубины 8 км. Подъемное оборудование не сохранилось, но каротажную аппаратуру можно спускать обычным каротажным подъемником. Это позволит в любой момент начать изучение глубинных слоев литосферы, строить объемные геофизические модели подвижек земной коры, предсказывать землетрясения, катастрофические сдвиги геологических блоков, решать десятки других важных научных про-

блем. Интерес к этому уникальному объекту проявляют десятки исследовательских центров в России и за рубежом. Возможно, Кольская сверхглубокая буровая скважина еще не сказала свое последнее слово. СГ-3 выполнила все поставленные перед нею задачи, и в техническом, и в научном плане. На поверхность было поднято 4 024 м керна, в том числе с двенадцатикилометровой глубины, выполнено более 400 тыс. км каротажных геофизических работ 25 методами. Как отмечает академик Е. А. Козловский, главная задача бурения СГ-3 состояла в изучении глубинного строения и рудоносности древней континентальной коры, а именно: получение глубинного геологического разреза; всестороннее исследование вещественного состава горных пород и характера их изменения с глубиной; выяснение особенностей проявления эндогенных геологических процессов в глубоких частях земной коры и связи с ними процессов рудообразования; выяснение геологической природы глубинных геофизических границ и геофизических параметров геологических толщ. В процессе исследований получен ряд важных сведений о земных недрах. Результаты были во многом неожиданны и еще недостаточно оценены научной общественностью. Прежде всего, установлена высокая проницаемость для флюидов глубинных зон земной коры. Ранее считалось, что с глубиной монолитность горных пород возрастает, уменьшается их пористость, трещиноватость, и в целом проницаемость. Однако плотность трещин и пористость пород на большой глубине, вопреки прогнозам, сохранялась, а на отдельных участках увеличивалась. Под большим давлением в этих трещиноватых зонах циркулировала перегретая вода и флюидные потоки.

В 60–70-е гг. прошлого века существовали серьезные проекты избавления от жидких радиоактивных отходов путем закачивания их в глубинные слои земной коры. Результаты бурения СГ-3 заставили человечество отказаться от выполнения подобных проектов – гидротермальные потоки разнесли бы радиоактивность на всём тысячекилометровом окружающем пространстве и на сотни лет отравили бы глубинные воды крупнейших европейских государств. В результате проходки Кольской скважины впервые были получены непосредственные данные о составе и физическом состоянии пород на больших глубинах. В результате были опровергнуты проектные представления о строении земной коры в районе Печенгской структуры. Проектный разрез СГ-3, составленный по данным сейсмических исследований, прогнозировал, что на глубине 4 км скважина выйдет из вулканогенно-осадочных

пород Печенгской структуры и войдет в гранито-гнейсы архейского фундамента. Разбуриив трехкилометровый слой гранито-гнейсов и относительно маломощный на этом участке базальтовый слой, скважина должна была погрузиться в породы мантии. Однако на деле породы Печенгской структуры простирались до глубины 6 842 м и лишь затем сменились архейскими гранито-гнейсами. А базальтовый слой вообще не был обнаружен – до самой рекордной глубины бур пробивался через архейские гранитоидные породы. Оказалось, что уплотненные гранитоиды при сейсмологических исследованиях воспринимались геофизиками в качестве более плотных, по сравнению со стандартными гранитами, базальтов или даже еще более плотных пород мантии. Эти неверные представления о глубинном строении Кольского полуострова и были положены в основу проектного разреза скважины. Таким образом, вместо предполагаемой на семикилометровой глубине "поверхности Конрада" (кровля базальтового слоя) был выявлен субгоризонтальный "коровый волновод", своеобразная зона разуплотнения, по которой происходили крупные субгоризонтальные перемещения блоков коры; аналогичные зоны разуплотнения были установлены и на других участках разреза СГ-3. Перемещение тектонических блоков по этим зонам обеспечило чешуйчато-надвигового строения всего Лапландско-Печенгского блока. В результате комплексного изучения керна горных пород СГ-3 был сделан ряд новых открытий в области геологии и палеонтологии. Установлено, что глубинные породы земной коры формировались при активном участии биологических процессов. Изотопный анализ углерода выявил два источника его происхождения: первый имеет мантийное происхождение, второй – биогенное, причем биогенный углерод преобладает в протерозойских метаосадочных породах. В последних также найдены микроорганизмы, возраст которых – более 2 млрд лет. Таким образом, подтверждена идея В. И. Вернадского о наличии на Земле докембрийских биосфер. Новые данные получены при оценке реальных температур на больших глубинах. Предполагалось, что в гранито-гнейсовом фундаменте Балтийского щита температура с глубиной растет незначительно (примерно на 8–10 °С на 1 км). Реальная температура в СГ-3 на глубине 10 км достигла 180 °С, а на глубине около 12 км – 212°С, вместо ожидаемых 120 °С. Возможно, это связано с повышенной тектонической активностью в глубинных горизонтах земной коры. Кроме того, по результатам скважинного гаммакаротажа и других видов геофизических исследований установлена вертикальная зональность в распределении концентраций урана,

тория и калия. Это – существенный вкладом в разработку общей термической модели формирования земной коры. Впервые доказано существование на больших глубинах в гранито-гнейсовом фундаменте массивов подземных минерализованных вод. Наибольшие притоки высокоминерализованных вод установлены в зонах тектонических нарушений, обладающих повышенной проницаемостью. В зонах циркуляции подземных вод, зафиксированных на больших глубинах (6,5–11,5 км и более), происходило отложение относительно низкотемпературной гидротермальной минерализации (медной, свинцово-цинковой, никелевой). Это свидетельствуют о принципиальной возможности появления на этих глубинах крупных скоплений, низко- и высокотемпературных руд, что имеет фундаментальное значение для развития учения о полезных ископаемых и о поисках рудных залежей на больших глубинах. Кроме того, на глубине в гнейсо-гранитах были обнаружены в значительных концентрациях углеводородные газы, в том числе метан. Это является еще одним аргументом в пользу неорганического происхождения углеводородного сырья. Выполненный комплекс разносторонних геофизических исследований позволял специалистам СГ-3, опираясь на сеть пробуренных сверхглубоких (глубже 7 км) скважин в других регионах СССР, отслеживать изменение геофизических параметров в трехмерном пространстве, строить объемные пространственные модели напряженных состояний земной коры, прогнозировать изменение этих состояний, что давало возможность прогноза землетрясений и катастрофических сдвигов земной коры за многие тысячи км от СГ-3. Промышленно развитые государства мира, расположенные в сейсмически опасных зонах, и прежде всего – Япония, выделяют десятки миллиардов долларов на исследования, связанные с изучением и предупреждением землетрясений, извержений вулканов, катастрофических подвижек тектонических плит и других природных катаклизмов, связанных с разрядкой напряжений в недрах нашей планеты. Продолжение исследовательских работ на СГ-3, недальновидно остановленных в конце прошлого века, во многом приблизило бы человечество к решению проблем безопасности людей, живущих в тектонически напряженных регионах мира. Заодно могли быть решены также десятки проблем, связанных с отслеживанием закономерностей изменения геофизических параметров в толщах гидросферы и литосферы планеты – включая возможность обнаружения перемещений субмарин и других подводных объектов в океанах Земли. Всего по программе сверхглубокого бурения в СССР, помимо СГ-3, была пробурена также Уральская скважина

в Свердловской области (глубина 6,3 км), Саатлинская скважина в Азербайджане (глубина 8,3 км), Ен-Яхинская скважина под Уренгоем (глубина 8,25 км), Тимано-Печорская скважина (глубина 7 км), Тюменская скважина (глубина 7,9 км), Шевченковская скважина на З. Украине (глубина 7,5 км). Таким образом, пробуренные сверхглубокие скважины в нашей стране можно сосчитать по пальцам обеих рук. Во всём мире таких скважин также немного – всего 8 (4 в США и по одной в Казахстане, Швеции и Германии). Следует отметить, что текущий 2018 г. – переломный в отношении сверхглубокого бурения. И снова в застрельщиках – наше государство. Руководитель Росгеологии Роман Сергеевич Панов сообщил в интервью корреспонденту еженедельника "Аргументы недели", что разработан проект бурения четырех сверхглубоких скважин глубиной до 7 км, первая из которых будет пробурена на Северном Кавказе, чтобы проверить гипотезу о крупных месторождениях углеводородов на глубине. Общеизвестно, что с проходкой СГ-3 – флагмана проекта сверхглубокого бурения, начался новый период изучения земной коры. Сверхглубокое бурение на континенте и в океанах перерастает в новую отрасль науки и техники, в которой сочетаются последние достижения научно-технического прогресса вообще и геологических дисциплин в частности. Нет сомнения в том, что достижение глубоких горизонтов Земли открывает для геологов новые закономерности ее развития, которые позволят принципиально по-иному представлять особенности глубинного строения земной коры нашей планеты и перспективы её рудоносности.

*Работа выполнена при поддержке гранта № 16-05-00026*

## Формирование разрезов тефроидных песчаников в современных и древних вулканических областях

Скуфьин П. К., Елизаров Д. В. (*г. Анапиты, Геологический институт КНЦ РАН*)

**Аннотация.** В статье рассматриваются некоторые детали формирования разрезов вулканогенно-осадочных пород в зонах экструзивных вулканических процессов на примере Панареченской структуры раннего свекофенния. Предлагается модель образования тефроидных песчаников структуры при синвулканическом разрушении вулканитов, с последующим переотложением материала в пределах кальдеры.

**Abstract.** In the article, some details of forming sections of volcanic-sedimentary rocks in the zones of extrusive volcanic processes are considered using the example of the Panarechye structure of early beetroot. A model is proposed for the formation of tefroid sandstones in the structure of synvolcanic destruction of volcanics, with subsequent redeposition of the material within the caldera.

Панареченская структура была закартирована автором в процессе детальных геолого-геофизических работ в центральной части Имандра-Варзугской структуры, бассейн р. Паны [1].

В плане ПВТС представляет собой овальное геологическое тело размером 15 x 8 км, вытянутое в северо-западном направлении и автономное по отношению к вмещающим породам ильмозерской и миттриярвинской свит (рис. 1). Структура на периферии сформирована породами панареченской свиты, в которой выделяется нижнепанареченская осадочная и верхнепанареченская вулканическая подсвиты. Ядерная часть ПВТС сложена кислыми вулканитами самингской свиты. Супракрустальные породы ПВТС по отношению к вмещающим ильмозерским вулканитам залегают с угловым и структурным несогласием.

При изучении пород нижнепанареченской подсвиты установлено, что разрез подсвиты мощностью около 600 м сложен своеобразными аркозовыми, реже граувакковыми песчаниками и алевролитами, в значительной степени относящимися к так называемым тефроидным разновидностям. В тефроидных песчаниках обломочный материал частично представлен обломками вулканического стекла, в то время как в обычных туффитовых песчаниках вулканическое стекло подвергается разложению [2].

Макроскопически тефроидные аркозовые и граувакковые песчаники представлены мелко- и среднезернистыми разновидностями серого и светло-серого цвета. В породе под микроскопом видны различной степени окатан-



ности зерна кварца, плагиоклаза и микроклина, а также овоидальные гранулы девитрифицированного среднекислого вулканического стекла, полупрозрачные в неполяризованном свете, размером, в среднем, 0.4 x 0.8 мм. В ряде случаев наблюдается переслаивание песчаников с метапелитовыми сланцами, отдельные слои которых обогащены углеродистым веществом.

У геологов, изучавших осадки нижнепанареченской подсвиты, нет единого мнения по поводу генезиса этих овоидальных окатанных зерен проблематичного вулканического стекла. Часть исследователей считает их окатанными обломками кварцитов. Однако, по нашим данным, эти образования представляют собой фрагменты вулканического стекла, попадающие в состав обломочных минералов песчаников при синвулканических процессах быстрого разрушения экструзивных вулканических построек.

Таблица 1 – Результаты лазерного микроструктурного анализа минералов из песчаников нижнепанареченской подсвиты и из пород монцонит-трахиандезитовой ассоциации ПВТС (прибор ЛМА-1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Si	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Al	5	5	5	5	5	4	5–6	6	6	6	5	5
Na	4	4	3	3	5	2	4	6	5	4	3	3
Mg	4	4	3	3	3	3	2	3	2	4	2	2
Fe	3	3	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	1
Mn	2	1	сл.	сл.	сл.	сл.	сл.	2	2	2	–	–
Ti	3	2	2	2	–	2	–	сл.	–	1	3	2
Ca	4	5	5	3	3	2	2	5	6	6	1	2
Sr	–	1	1	–	–	–	1	2	2	2	2	1
Cu	1	1	2	сл.	сл.	–	–	–	–	–	–	–
B	–	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание. Колонки 1–6 – обломки измененного вулканического стекла; колонки 1-2 – образцы из песчаников ПВТС; колонки 3–6 – образцы из разреза пород кассейокской свиты Южнопеченгской зоны (бур. скв. № 2017). Колонки 7–12 – плагиоклазы из песчаников и пород монцонит-трахиандезитовой ассоциации ПВТС: 7–8 – плагиоклазы из монцонитов, 9–10 – плагиоклазы из трахиандезитов, 11–12 – плагиоклазы из граувакковых песчаников ПВТС.

В таблице приводятся результаты лазерного микроспектрального анализа гранул вулканического стекла из тефроидных песчаников нижнепанареченской подсвиты, а также сопоставление их состава с составами обломков вулканического стекла из тефроидных песчаников кассейокской свиты Южнопеченгской зоны. Налицо идентичность этих образований, а также сходство по основным характеристикам с составом плагиоклазов из пород

монцит-трахиандезитовой ассоциации ПВТС. Можно предположить, что витрофировый материал в размывавшейся верхней "шапке" панареченских экструзий был представлен плагиостеклом, что характерно для экструзивных построек среднекислого состава.

Автор предлагает модель образования тефроидных аркозовых и грауваковых панареченских песчаников за счет автономного гранитоидного источника – при синвулканическом разрушении приповерхностных экструзивных монцит-трахиандезитов, экструзии которых внедрились по циркумструктурному кольцевому разлому на периферии ПВТС (рис. 1), с последующим быстрым переотложением рыхлого материала в синвулканическом бассейне осадконакопления (кальдерное озеро).

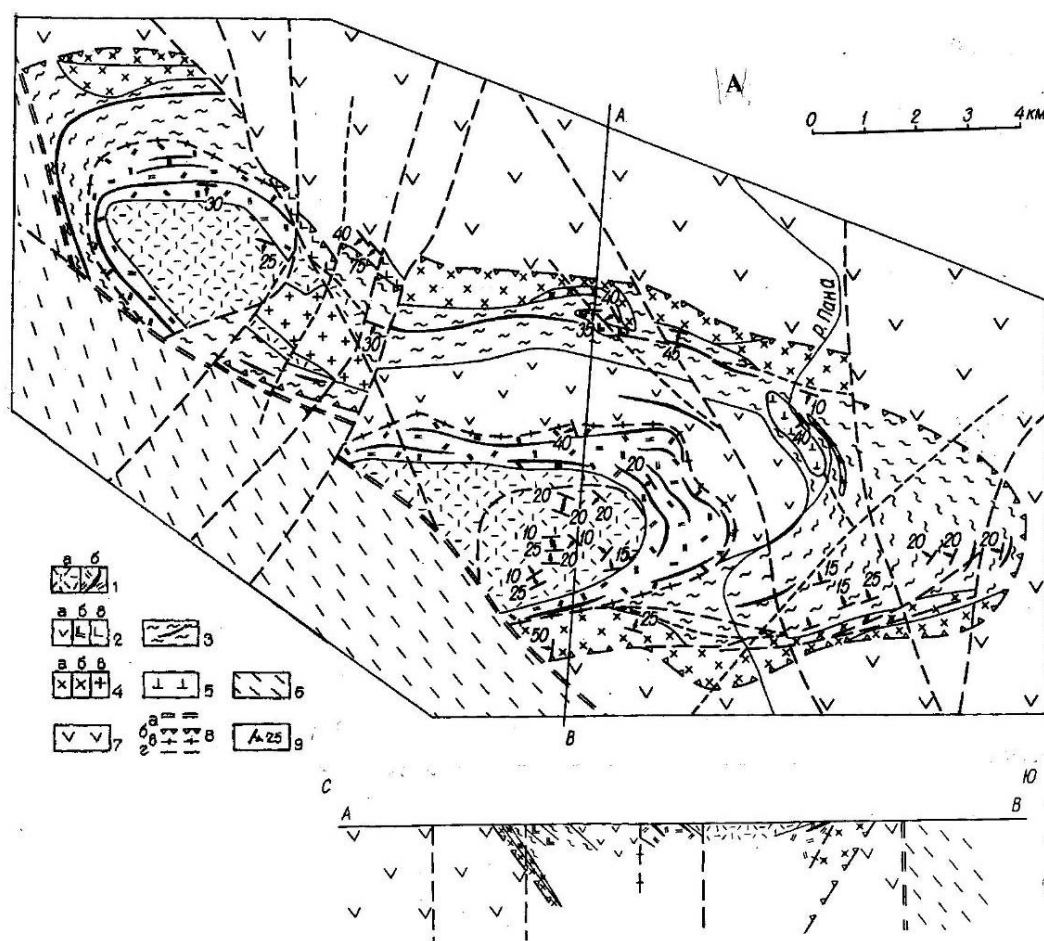


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта Панареченской вулкано-тектонической структуры (ПВТС).

- Условные обозначения: 1 – кислые вулканиты самингской свиты;  
2 – базальты верхнепанареченской подсвиты; 3 – осадки нижнепанареченской подсвиты; 4 – эпизональные монциты (а) и трахиандезиты (б), (в) – граниты;  
5 – ультраосновные породы Панареченского массива;  
6 – вулканиты миттриярвинской свиты; 7 – лавы ильмозерской свиты;  
8 – дизъюнктивные нарушения, 9 – залегание пород

Материалы изучения современных и древних кальдероподобных вулкано-тектонических структур не противоречат нашему предположению, причем непостоянство мощностей осадочной подсытки в пределах ПВТС можно объяснить миграцией внутрикальдерного озера, временами занимавшего эксцентричное положение в палеокальдере, аналогично кальдере Эронго в Юго-Западной Африке (рис. 2).

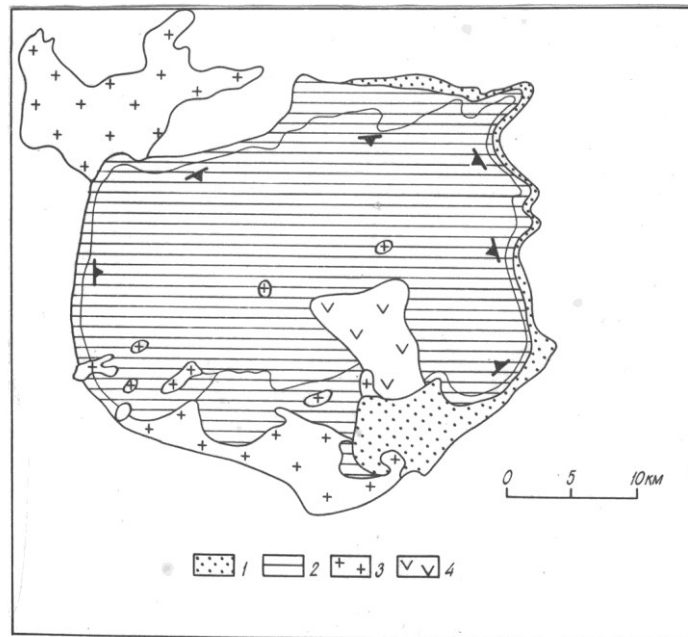


Рисунок 2 – Вулкано-тектоническая структура Эронго в Юго-Западной Африке [3].

Условные обозначения: 1 – осадки, 2 – лавы, 3 – субвулканические граниты,  
4 – субвулканические диориты

Автор наблюдал формирование современных разрезов тефроидных песчаников при изучении вулканогенно-осадочных процессов в районе извержения вулкана Толбачик на Камчатке в 1976–77 гг. В зоне Толбачинского базальтового извержения в кратере соседнего вулкана Безымянный непрерывно (с 1956 г.) происходит формирование экструзивного андезитового купола вулкана Новый – крупнейшей современной экструзии Камчатки. Извержение андезитовых лав в кратере, формирующие экструзивный купол, происходит в виде протрузий крупных жестких блоков и сопровождается эксплозиями разной силы, а также раскаленными лавинами андезитовых лав. На вид монолитные глыбы раскристаллизованных среднезернистых экструзивных андезитов, поставлявших материал для этих лавин, буквально рассыпаются в руках в дресву, по размерности аналогичную зернам слагающих андезиты минералов. Легкий удар геологического молотка – и полуторамет-

ровая массивная глыба экструзивного андезита рассыпается в прах, превращаясь в невысокий холмик песчано-гравийного материала. Купол Новый и сам вулкан Безымянный стоят как бы погруженные в этот сыпучий песчано-тефроидный материал, который подхватывается временными водотоками, перемывается в глубоких, многометровой глубины оврагах и массами увлекается речной системой реки Сухая Хапица.

Следует подчеркнуть, что все исследователи субвулканических и экструзивных гранитоидных массивов пишут о непрочности этих пород, об их нестойкости и легкой разрушаемости.

Э. Раген [4] пишет, что субвулканические граниты в течение нескольких лет превращаются в дресву и поэтому непригодны для технических нужд.

Возможность быстрого приповерхностного разрушения и разуплотнения субвулканических и экструзивных гранитов облегчается механизмом внедрения этих тел, который был раскрыт в конце XX в. Нередко приповерхностные граниты внедряются во вмещающие породы в виде жестких блоков, что подтверждается, например, исследованием трещиноватости гранитов Росс в Ирландии, которые представляют собой "кольцевую систему типа гранитов кальдеры оседания" [4]. В корневых зонах крупных голоценовых вулканических систем Камчатки полнокристаллические экструзии габбро-диоритов и диоритов центральных частей палеовулканов представляют собой вертикальные призматические блоки, дифференцированные по составу [5]. Блоки-призмы "разделены брекчиями, состоящими из обломков интрузивных пород". Авторы, занимавшиеся детальными исследованиями камчатских палеовулканов, пишут, что "отдельные блоки – это порции внедрения, их границы – это естественные границы интрузивных тел". Средняя мощность таких призм составляет 100 м. Авторы пишут, что такое же автоэксплозивное происхождение имеют мощные пачки обломочного материала в основании многих верхнемиocen-плиоценовых вулканов, для которых "вряд ли можно предполагать вулкано-терригенное происхождение, так как этот материал находится в основании вулкана, в пределах его жерловой фации".

В экструзивных андезитовых куполах на Камчатке автор также наблюдал блоковое строение этих куполов, с размерами блоков 1–7 м, разделенных "оболочками автоэксплозивных брекчий" мощностью до 1 м. Быстрое разрушение экструзивных гранитоидов объясняется не только разуплотнением путем снятия скрытых глубинных напряжений, но и повсеместной ар-

гиллизацией этих пород, причем избирательной аргиллизации подвергается в первую очередь метастабильное вулканическое стекло, количество которого в экструзивных гранитоидах достигает 30–40 %.

*Работа выполнена при поддержке гранта № 16-05-00026*

### **Библиографический список**

1. Скуфьин П. К., Пушкин Г. Ю. Вулкано-тектоническая структура в центральной части Печенгско-Варзугского вулканического пояса (Кольский полуостров) // ДАН СССР, 1986, т. 287, N 6. С. 1461–1464.
2. Малеев Е. Ф. Критерии диагностики фаций и генетических типов вулканитов. – М. : Наука, 1975. – 256 с.
3. Korn H., Martin H. et al. The Damaralend Subvolcanic Ring Complexes in South West Africa. Rep. of XXI Sess. Int. Geol. Congr., 1960, pt. 13, p. 77–93.
4. Раген Э. Геология гранита. – М. : Недра, 1979. – 327 с.
5. Шеймович В. С., Патока М. Г. Питающие системы вулканов // Вулканонология и сейсмология, 1980, № 6. – С. 21–32.

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ  
АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА**

## Анализ технологии утилизации бурового раствора

**Белозеров А. А., Дзапаров С. А., Коротяев Б. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** в данной статье изучен метод утилизации отработанного бурового раствора или шламовой суспензии методом обратной закачки в пласт. Была проанализирована информация о классификации буровых растворов, а также функциях, которые раствор выполняет во время бурения. Выявлена и обоснована экологическая неэффективность утилизации с помощью данной технологии. Даны рекомендации по утилизации.

**Annotation:** in this article was analysed a technology of drilling mud's utilization. The information about types and functions of mud was described too. Ecological inefficiency of this utilization method was proved. There are some recommendations about technology using.

**Ключевые слова:** шламовая суспензия, обратная закачка, реинжекшн, технология утилизации.

**Keywords:** sludge suspension, reinjection, utilization technology.

В данном исследовании были рассмотрены основные аспекты, касающиеся утилизации отработанного бурового раствора. Цель проекта состоит в анализе современного метода утилизации, который не является экологически эффективными. Данная работа является особо актуальной для Арктического региона, так как при нефте- и газодобыче в Арктике понадобятся большие объемы бурового раствора, которые нужно будет утилизировать эффективно.

На первом этапе работы был рассмотрен сам объект исследования – буровой раствор, также были изучены его виды и основные функции. Согласно учебным пособиям, выделяется три вида буровых растворов: на водной, углеводородной и азрированной основах. Универсального бурового раствора не существует, поэтому при бурении тип раствора выбирается исходя из геологических условий. Важными функциями, которыми обладает буровой раствор, являются создание противодействия на пласт, очистка забоя от выбуренной породы (шлама), создание фильтрационной корки, а также смазывание и охлаждение бурового инструмента [1].

На втором этапе была изучена популярная, но экологически неэффективная технология утилизации, которая предусматривает закачку отрабо-



танного бурового раствора в пласт, которая носит название "Реинжекшн" (обратная закачка). Впервые она была использована в начале 90-х гг. компанией "Бритиш Петролеум" на морских нефтедобывающих платформах. Суть данной технологии состоит в том, что при бурении вся выбуренная порода (шлам) содержится в специальном аппарате – шламонакопителе. Когда буровые работы закончены, весь шлам отправляется в другой аппарат, который называется "дробильщик", где вся выбуренная порода измельчается до размеров 100 микрон, в это же время весь отработанный буровой раствор хранится на платформе. Далее в установке для приготовления шламовой суспензии происходит смешивание бурового раствора и измельченного шлама, полученная суспензия с помощью насосов высокого давления подается в пласты через разведочные скважины (рис. 1) [2].

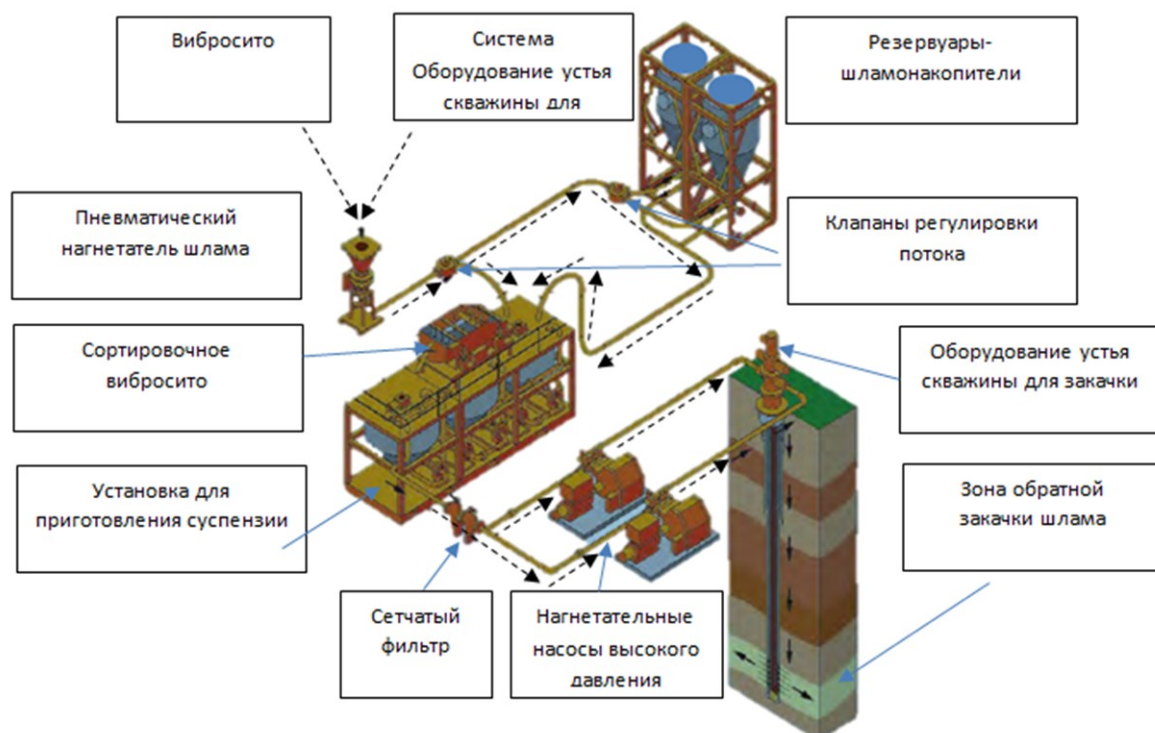


Рисунок 1 – Технологическая схема "Реинжекшн"

На третьем этапе был проведен лабораторный опыт, основная гипотеза состоит в том, что будет происходить загрязнение района утилизации. Для подтверждения гипотезы был приготовлен буровой раствор согласно рецептуре (буровой раствор на водной основе с добавлением глинопорошка, хлорида калия, гидроокиси натрия, смазочной добавки и пеногасителя), который был захоронен под толщей пород в специальной трубе, тем самым моделируя район утилизации. Труба была равномерно проперфорирована

через каждый сантиметр по всей длине, после чего в полученные отверстия были вставлены саморезы, которые выполняют роль электродов. Так как буровой раствор содержит в себе соль (хлорид калия), то он будет являться проводником, поэтому измеряя электрическое сопротивление на каждом уровне с помощью прибора Ц4324 и переводя это значение в удельное сопротивление, можно будет в итоге узнать концентрацию загрязнителя с помощью специальных диаграмм [3]. Опыт проводился в течение месяца при комнатной температуре.

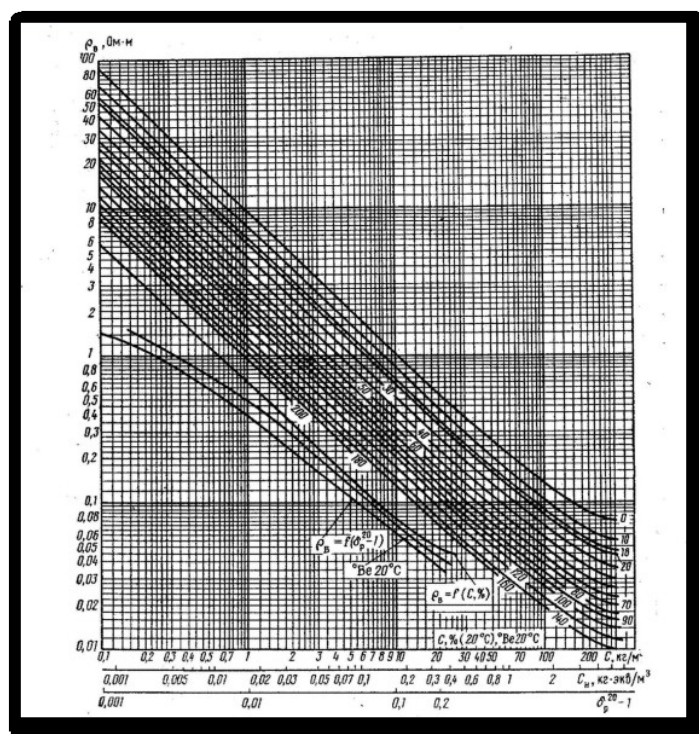


Рисунок 2 – Диаграмма перевода удельного сопротивления вещества в его концентрации (хлориды)

На четвертом этапе был произведен анализ данных за все время опыта. Анализ был проведен в программной среде Wolfram Mathematica. Полученные данные говорят о том, что основной загрязнитель (хлорид калия) равномерно распределился по трубе, что подтверждает теорию неэффективности технологии утилизацию методом обратной закачки в пласт (рис. 3). Для проверки было решено уравнение конвективной диффузии, построен его график и в конце получен итоговый график, совмещающих лабораторные данные и полученные при решении уравнения конвективной диффузии (рис. 4).

На последнем этапе были произведены лабораторные исследования для определения процентного содержания загрязнителей на 100 грамм почвы. В итоге, содержание загрязнителей увеличилось в несколько раз, доходя

до опасных значений (при данных значениях содержания хлоридов в почве наблюдается значительные проблемы для прорастания сельскохозяйственных культур).

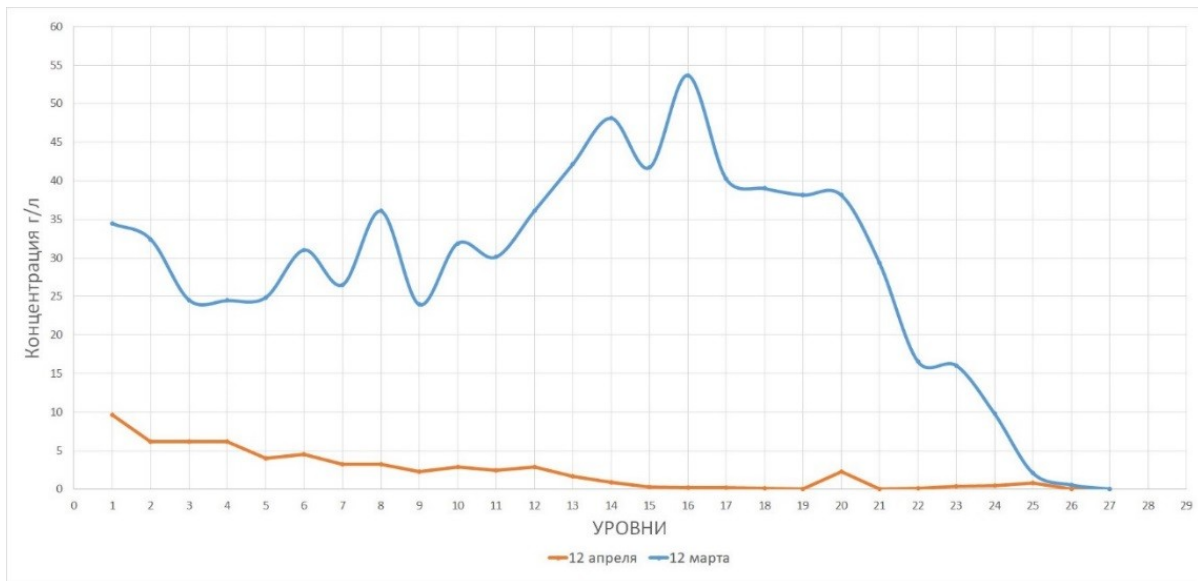


Рисунок 3 – Концентрации соли в первый и последний дни эксперимента

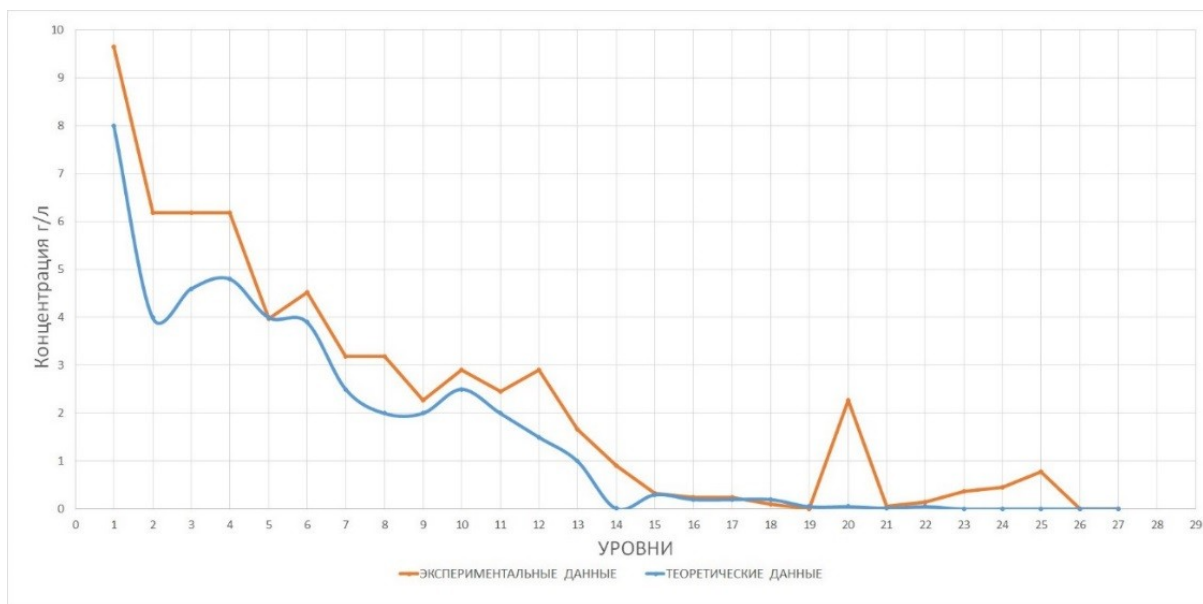


Рисунок 4 – Сопоставление экспериментальных и теоретических данных

Таблица 1 – Результаты лабораторного исследования почвы "до" и "после" эксперимента

Анализ почвы на хлориды		Анализ почвы на щелочность	
Содержание Cl <sup>-</sup>		Содержание OH <sup>-</sup>	
до	после	до	после
0,06 %	0,20 %	0,25 %	0,30 %
Увеличение в 4 раза		Увеличение в 2 раза	

В заключение нужно сказать, что утилизация данным методом возможна только при предварительной обработке бурового раствора. Обработку возможно осуществить двумя способами: термическим или химическим. Также возможен вариант использования биологически разлагаемых компонентов-аналогов.

### **Библиографический список**

1. Ананьев, А. Н. Учебное пособие инженера по буровым растворам : учебник / А. Н. Ананьев. – Волгоград : Изд-во "Интернешнл Касп Флюидз", 2000. – 140 с. : ил.
2. Интернет-журнал "Тайм Юнит", статья "Применение обратной закачки буровых отходов с целью утилизации" // Научно-методический журнал / [Электронный ресурс] <http://www.timeunit.ru/company/publications/231/>
3. Дахнов, В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважины : учебник / В. Н. Дахнов. – Москва : Изд-во "Недра", 1982. – 448 с. : ил.

## Освоение Арктического шельфа с помощью подводных технологий добычи нефти и газа

**Белухин А. И.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Арктический шельф является одним из крупнейших источников углеводородов. Трудности его освоения связаны прежде всего с суровыми климатическими условиями региона. Помочь в освоении арктического шельфа могут подводные технологии добычи нефти и газа. В связи с этим на базе кафедры морского нефтегазового дела МГТУ создан интерактивный учебный класс, имитирующий работу месторождения с использованием подводного добычного комплекса.

**Abstract.** The Arctic shelf is one of the largest sources of carbohydrates. The difficulties of its development are associated primarily with the harsh climatic conditions of the region. To help in the development of the Arctic shelf can underwater technologies for extracting oil and gas. In this regard, on the basis of the Department of marine oil and gas Affairs of MSTU, an interactive classroom has been created that simulates the work of the field with the use of underwater mining complex.

**Ключевые слова:** шельф, Арктика, углеводороды, инновационные технологии, подводные добычные комплексы.

Арктический шельф обладает очень высоким топливно-энергетическим потенциалом. На долю месторождений, расположенных в столь суровых климатических условиях, приходится порядка 25% от всех запасов нефти и газа в мире. Безусловно, освоение ресурсной базы Арктического региона является одним из ключевых направлений развития нефтегазовой промышленности нашей страны.

Специфика освоения Арктического шельфа прежде всего охарактеризована его высокоширотным расположением, обуславливающим полярное лето и зиму. Поэтому основополагающими факторами в процессе разработки и эксплуатации месторождений являются сложные и переменчивые гидрометеорологические условия, характеризующиеся крайне значительной изменчивостью погоды, а также круглогодичная повышенная ледовая обстановка. В условиях сурового климата Арктики вероятность аварийных ситуаций возрастает в разы. Возможность ликвидации последствий разлива нефти, а также её эффективность осложняются многочисленными штормами с высокими волнами, густым туманом и многометровым льдом. Если авария произойдёт во время полярной ночи, которая длится здесь несколько месяцев, то работы



по устранению последствий придётся проводить в темноте, практически наугад. Ещё одна опасность – айсберги, столкновение с которыми может стать роковым для нефтедобывающей платформы. Для борьбы с айсбергами планируется использовать брандеры – корабли, нагруженные горючими веществами.

Кроме специфических климатических условий, к сложностям, возникающим при освоении Арктического шельфа, относят покмарки и газовые фонтаны, обусловленные наличием газа и газогидратов в придонных отложениях. Последние представляют собой нестехиометрические (нестабильные) образования, в которых молекулы газа (часто метана  $\text{CH}_4$ ) заключены между молекулами воды (рис. 1) [1].

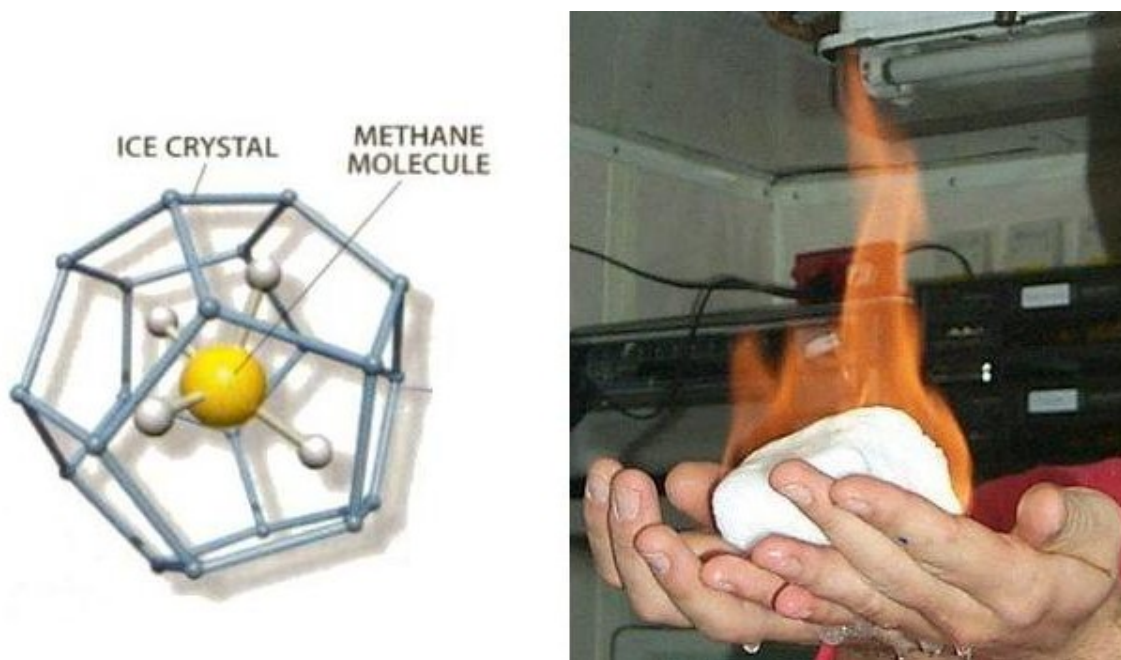


Рисунок 1 – Структура и внешний вид газогидрата

Опасность газогидратов обусловлена их стихийной диссоциацией, возникающей при изменении термобарических условий их залегания. В результате этого происходит растворение газа в морской воде, что приводит к снижению ее плотности. При этом плавучесть судна становится отрицательной вследствие изменения выталкивающей силы (рис. 2). Все это может привести к опрокидыванию морских нефтедобывающих сооружений (буровые суда, платформы и т. д.).

Покмарки (округлые углубления в рельефе дна) и плугмарки (протяженные борозды), в том числе и газогидратоносные, известны в целом ряде арктических акваторий (Hovland, Judd, 1993; Vogt et al., 1994; Mazzini et al., 2004; Judd, Hovland, 2007 и др.). Их формирование обусловлено эрозион-

ными процессами, которые вызваны фокусированной разгрузкой воды и/или нефти, обогащенной природными газами. Покмарки формируются в достаточно мягких морских отложениях и могут достигать более километра в диаметре (Ivanov et al., 2002). Большое количество таких объектов обнаружено на глубине 300 м в районе Штокмановского месторождения.



Рисунок 2 – Выброс придонного газа под судном

На дне Норвежского моря обнаружены многочисленные нефтяные и газовые поля, с которыми, как правило, связывают (Judd, Hovland, 2007) распространение покмарков (рис. 3).

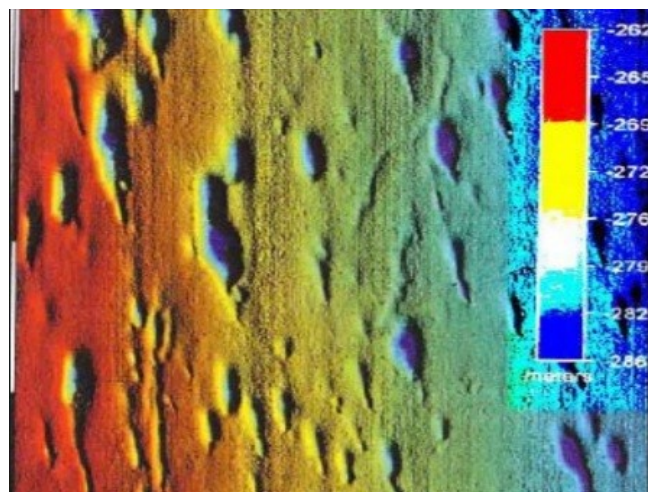


Рисунок 3 – Продолговатые покмарки (elongated rockmarks)  
на дне Норвежского моря (Judd, Hovland, 2007)

Поля гигантских покмарков зафиксированы в Зюйдкапском желобе (некоторые покмарки достигают 500 м в диаметре при глубине 10 м) (Леин, Иванов, 2010). Диаметр покмарков районов Сторегга и Ньегга составляет 190 м (Anderson et al, 2009). Небольшие структуры (до нескольких метров в диаметре), напоминающие покмарки, зафиксированы в районе хребта Вестнезе (76° с. ш.). В придонном слое воды над ними была зарегистрирована повышенная концентрация метана (Vogt et al., 1994; Леин и др., 2000; Пименов и др., 2000). У берегов Норвегии на дне встречаются также положительные структуры высотой 30 м и шириной в несколько сотен метров. Их образование связывают с движением поровых вод с легкими углеводородами, мигрирующих из осадков и просачивающихся через тонкий покров (менее 10 м) четвертичных отложений (Judd, Hovland, 2007) [2].

Исходя из вышеперечисленных явлений, освоение шельфа Арктики путем использования традиционных технологий добычи нефти и газа, крайне опасно и малоэффективно. В связи с этим, в ряде стран (Норвегия, Канада, Россия) получили распространение подводные технологии добычи углеводородов. Ключевой особенностью данных технологий является частичный или полный отказ от надводных элементов нефтегазовой промышленности (буровые платформы различных типов, буровые суда и т. д.) путем создания высокотехнологичных многозабойных скважин, установки придонного устьевого оборудования, соединения скважин между собой подводными трубопроводами. Ярким примером использования таких систем является месторождение Приразломное в Печорском море, где 36 скважин обслуживаются всего одной морской ледостойкой стационарной платформой (МЛСП). Такая конструкция позволяет многократно снизить вероятность аварий и осложнений (рис. 4).

В 2013 г. в эксплуатацию было введено Киринское газоконденсатное месторождение. Ключевой его особенностью является полное отсутствие морских надводных сооружений (рис. 5).

Месторождение расположено в 28 км восточнее о. Сахалин, запасы составляют порядка 137 млрд м<sup>3</sup> газа и 15,9 млн т конденсата. На морском дне расположены подводные добычные комплексы, объединяющие по несколько (в среднем 2–4) скважин. Извлекаемая углеводородная смесь по трубопроводу подается на береговой технологический комплекс (БТК). Весь процесс добычи автоматизирован, управление и контроль осуществляются с берегового центра управления [3].



Иностранный опыт использования подводных технологий добычи нефти и газа более богатый. Среди месторождений Арктического шельфа, разработанных с использованием подводных добычных комплексов (ПДК), можно отметить следующие: Troll (Норвегия), Snøhvit (Норвегия), Ormen Lange (Норвегия).

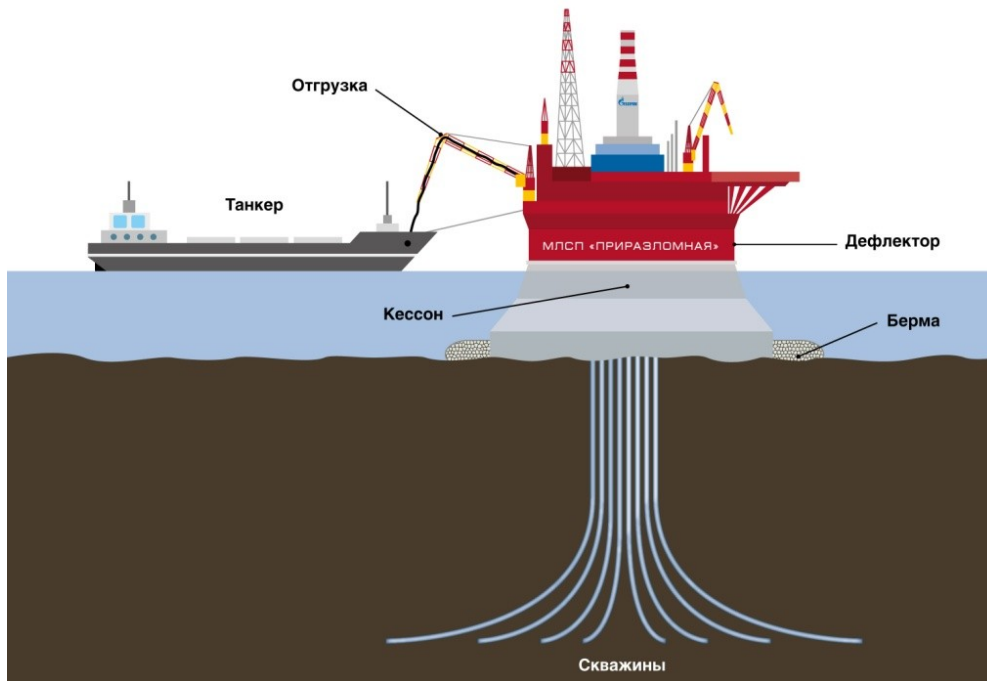


Рисунок 4 – Конструкция МЛСП "Приразломная"

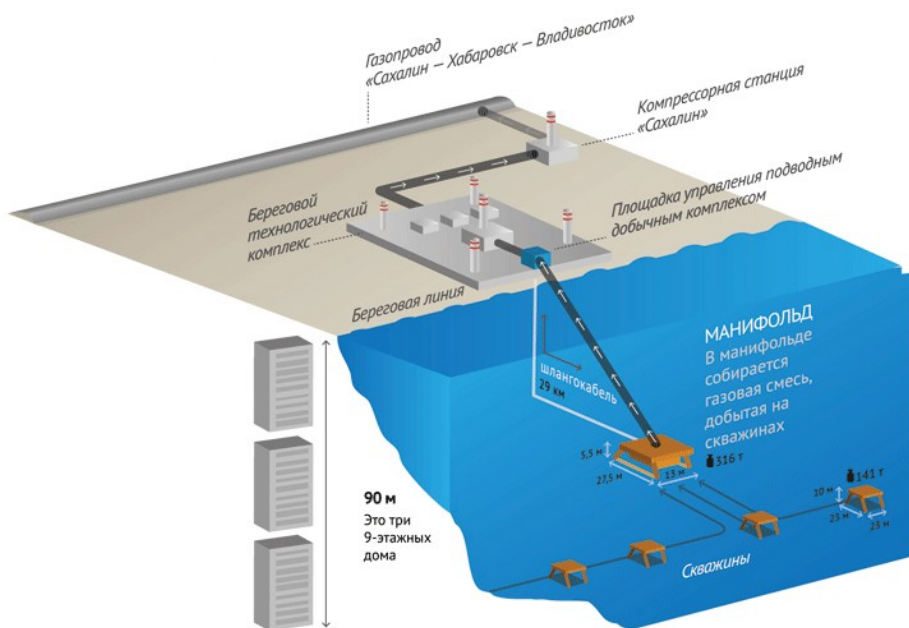


Рисунок 5 – Киринское ГКМ

В связи с растущим интересом к подводным технологиям добычи углеводородов, в 2016 г. нефтяная корпорация "Роснефть" открыла на базе Мурманского Государственного Технического Университета 3D-лабораторию по моделированию нефтегазовых процессов. Основным элементом в ней является интерактивный учебный класс, имитирующий автоматизированную систему управления (АСУ) подводного добычного комплекса (рис. 6).

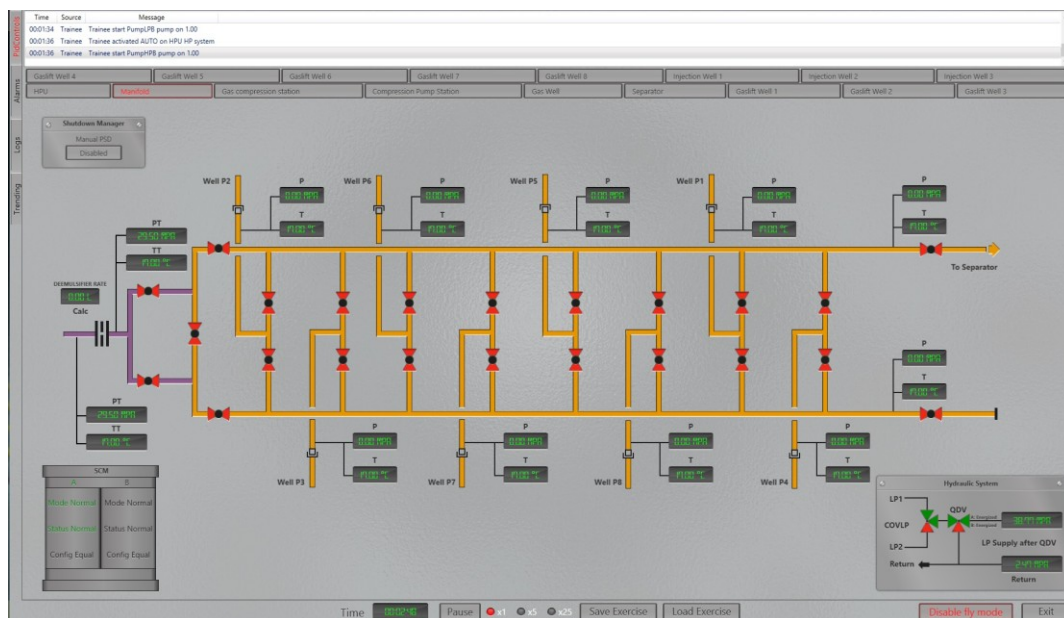


Рисунок 6 – Рабочая консоль АСУ

Данная лаборатория позволяет подготовить специалистов, владеющих навыками работы с высокотехнологичными системами, применяемыми при разработке и эксплуатации морских месторождений нефти и газа.

Таким образом, освоение Арктического шельфа представляет собой сложный, многогранный процесс, требующий создания и внедрения инновационных технологий. Подводные добычные комплексы являются актуальной вехой развития нефтегазовой промышленности. Следует предполагать, что в ближайшем будущем ПДК станут основным способом добычи углеводородов на океаническом шельфе.

### Библиографический список

1. Макагон, Ю. Ф. Гидраты природных газов / Ю. Ф. Макагон. – М. : "Недра", 1974. – 172 с.
2. Бондур В. Г., Кузнецова Т. В., Воробьев В. Е., Замшин В. В. Выявление газопроявлений на шельфе России по данным космической съемки.
3. <http://www.gazprom.ru>- Сахалин 3. Передовые технологии подводной добычи углеводородов.

## Исследование механизмов очистки моторного масла в лабораторных условиях

Гашимов С. Н. Кривотулов Р. В. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Исследована вязкости отработанного и нового моторного масла в зависимости от температуры. Проведена фильтрация масел через магнитный фильтр и анализ изменения плотности после пропускания их через магнитный фильтр. Прделана очистка моторного масла электродным методом от металлических взвесей. Прогнали моторное масла через электроды от металлических абразивов.

**Ключевые слова:** масло, очистка, фильтрация, металлические взвеси.

Актуальность работы заключается в том, чтобы продлить использования отработанного масла [1]. Особенно актуально это для механизмов, работающих в северных точках мира, так как доставку смазывающих веществ можно заменить полезными материалами (провизиями).

Целью нашей работы являлось рассмотреть способы отчистки отработанного моторного масла, а также проанализировать и сопоставить физико-механические свойства отработанного и нового масла.

На первом этапе нашего исследования мы исследовали вязкость отработанного и нового моторного масла в зависимости от температуры. С помощью ротационного вискозиметра OFITE и термостата была задана постоянная температура и определена пластическая вязкость отработанного и чистого моторного масла Mitsubishi Motors 5W30.

Таблица 1 – Зависимость вязкости моторного масла от температуры

Температура, °С	Вязкость чистого масла, мПа*с	Вязкость отработанного масла, мПа*с
-10	135	150
20	104	89
50	53	36
75	29	17

На втором этапе мы рассмотрели способ очистки моторного масла электродным методом. Была собрана установка, имитирующая масляный канал.

Вдоль всей длинны трубки проходили два отрезка стальной проволоки, выполняющие роль электродов. Проволока была подключена к БП, который, в свою очередь, был подключен через лабораторный реостат в сеть. Замеры происходили при напряжении  $400 \pm 12$  Вольт. В масло были добавлены металлические опилки, массой 0.9 грамма. В итоге, 0.2 грамма опилок остались в первоначальной емкости, 0.2 грамма опилок оказались маслосливной воронке, 0.3 грамма абразивов осело на поверхностях трубки и оставшиеся 0.2 грамма протекли вместе с маслом в сливную емкость.

На третьем этапе была рассмотрена очистка моторного масла с помощью песка. Были взяты 270 мл и некоторое количество песка, фракцией 1-2 мм. В песок были добавлены металлические опилки массой 1.5 грамма. В итоге, после пропускания масло через песок, песком были задержаны 1.2 грамма абразива, остальные 0.3 грамма прошли сквозь песок, так как их размер был меньше, чем песок. Это была своего рода металлическая пыль.

На четвертом этапе мы попытались профильтровать отработанное масло через магнитный фильтр. Была произведена магнитная очистка масел с помощью магнитов (10 шт., магнитная сила каждого магнита – 2Н). Для каждого из масел опыт повторялся 10 раз. У отработанного масла было замечено уменьшение плотности в интервале от  $0.836-0.752$  г/см<sup>3</sup>, у нового масла в диапазоне от  $0.827-0.699$  г/см<sup>3</sup>.

Таблица 2 – Плотность отработанного масла после пропускания через магниты

№ Опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чистое масло	0.827	0.78	0.74	0.72	0.715	0.71	0.705	0.7	0.699	0.699
Отработанное масло	0.836	0.82	0.81	0.803	0.793	0.78	0.76	0.754	0.753	0.752

На заключительном этапе мы фильтровали моторное масло через фильтровальную бумагу под давлением. Проведя фильтрацию отработанного масла через фильтровальную бумагу под давлением 0.7 МПа плотность масла изменилась с  $0.836$  г/см<sup>3</sup> до  $0.821$  г/см<sup>3</sup>, что свидетельствует наличие взвешенных металлических частиц. Масса фильтровальной бумаги до фильтрации составляла 0.5 г., после фильтрации и просушивания ее масса составила 0.9 г.

Заключением к работе является список преимуществ СПГ над другими видами топлива: дешевизна, компактность, безопасность, экологичность, перспективность для Арктического региона.

При повышении температуры значение вязкости снижается, соответственно для регионов с холодным климатом необходимо выбирать масла с меньшей вязкости. Было обнаружено временное намагничивание моторного масла и его временное изменение плотности, вследствие того, что в отработанном масле присутствовали взвеси в виде железных стружек механизма, а в новом масле это, возможно, обусловлено магнитными свойствами присадок. Проведя фильтрацию под давлением плотность отработанного масла изменилась, это связано с наличием в нем твердых металлических частиц. Эксперимент с очищением электродным способом не удался по ряду причин, в отличие от эксперимента с песочным фильтром.

### **Библиографический список**

1. Жуков М. В., Чижов В. Н. Восстановление свойств отработанного масла с целью увеличения срока его использования / М. В. Жуков. – Алтай : Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2003. – 80 с. : ил.

## Газификация Мурманской области. Мечта и реальность

**Герасимова О. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Статья посвящена проблемам газификации Мурманской области. Освещены существующие проекты перевода потребителей на снабжение природным газом и вопросы формирования в регионе газотранспортной системы. Перевод на газовое топливо потребителей Мурманской области в ближайшей и среднесрочной перспективе остается приоритетной задачей государства.

**Abstract.** The article is devoted to problems of gasification of the Murmansk region. Existing projects of transferring consumers to natural gas supply and issues of formation of a gas transportation system in the region are covered. The transfer of gas to consumers in the Murmansk region in the near and medium term remains a priority for the State.

**Ключевые слова:** Россия, Арктический шельф, Мурманская область, Кольский полуостров, транспортный узел, мазут, СУГ, СПГ, природный газ, газификация, транспорт, поставки. gas supply, transport, deliveries.

**Key words:** the Russia, the Arctic shelf, the Murmansk region, the Kola peninsula, transport junction, fuel oil, LPG, LNG, natural gas.

Известно, что Мурманская область является настоящей сокровищницей России. В ее недрах открыто более 1 000 видов различных минералов. Нельзя недооценивать стратегическое значение Кольского полуострова, на котором она расположена.

Мурманский регион географически расположен в близости к разведанным месторождениям углеводородного сырья на Арктическом шельфе, что дает ему преимущество в части реализации нефтегазовых проектов. Здесь расположены крупнейшие промышленные и судоремонтные предприятия, научно-исследовательские и образовательные учреждения. Морской порт Мурманск является единственным крупнейшим незамерзающим портом в Арктическом бассейне Российской Федерации и обладает транспортным узлом, который даёт конкурентоспособные преимущества по доставке углеводородного сырья к мировым рынкам сбыта. Всё это делает Мурманскую область перспективной базой освоения Арктического шельфа.

Мурманский транспортный узел (МТУ) – это крупнейший инфраструктурный проект в масштабах всей РФ и один из пилотных проектов Арктической зоны [1].

Стоимость – 132,3 млрд рублей, из которых 56,6 млрд руб. – средства федерального бюджета и 75,7 млрд руб. – внебюджетные источники.

На базе российского самого северного морского порта, на обоих берегах Кольского залива создается мощный круглогодичный глубоководный порт, включающий (рис. 1):

- нефтяные терминалы для перевалки нефтяных грузов;
- угольный терминал [2];
- контейнерный терминал;
- новые подъездные пути к порту;
- новую железную дорогу.

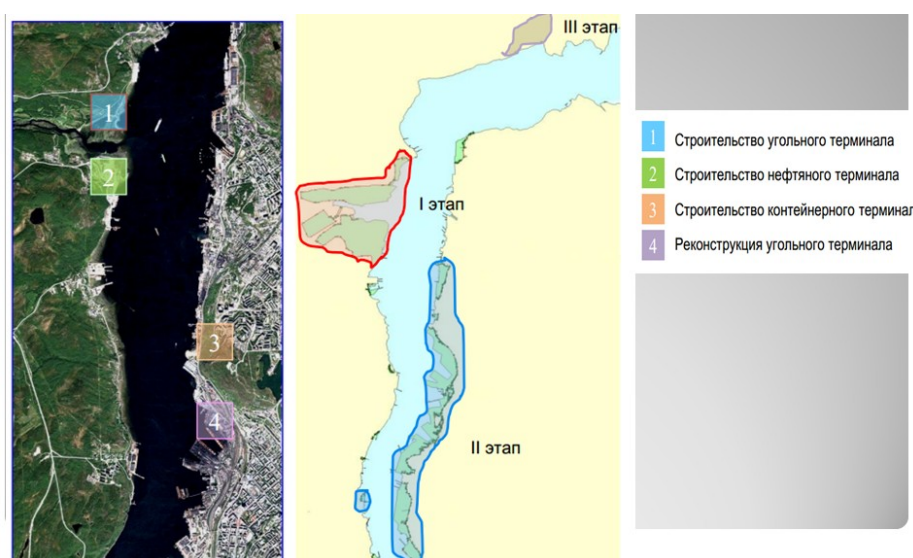


Рисунок 1 – Схема размещения основных объектов МТУ по проекту "Комплексное развитие Мурманского транспортного узла"

Мурманский порт должен принимать крупнотоннажные транспортные суда дедвейтом до 300 тыс т и будет интегрирован в международный транспортный коридор "Север – Юг".

Годовой грузооборот порта Мурманск должен достигнуть к 2020 г. более 80 млн т.

Проект реализуется и возрастает потребность в энергоресурсах.

Для этого нужно обеспечить Мурманскую область газом, но вопрос оказался непростой.

Мурманская область – единственный регион РФ, где в качестве энергоносителя используется, в основном, топочный мазут, а для бытовых нужд используется привозной сжиженный углеводородный газ (СУГ).

Ещё в 2011 г. В. Путин отмечал важность развития добычи газа для газификации регионов Северо-Запада, в том числе и Мурманской области



и тогда Газпром утвердил "Генеральную схему газоснабжения и газификации Мурманской области".

По данной схеме предполагалось обеспечить газификацию региона за счет Штокмановского месторождения (рис. 2). Запасы месторождения составляют 3,9 трлн куб. м газа и 56 млн т газового конденсата [6].

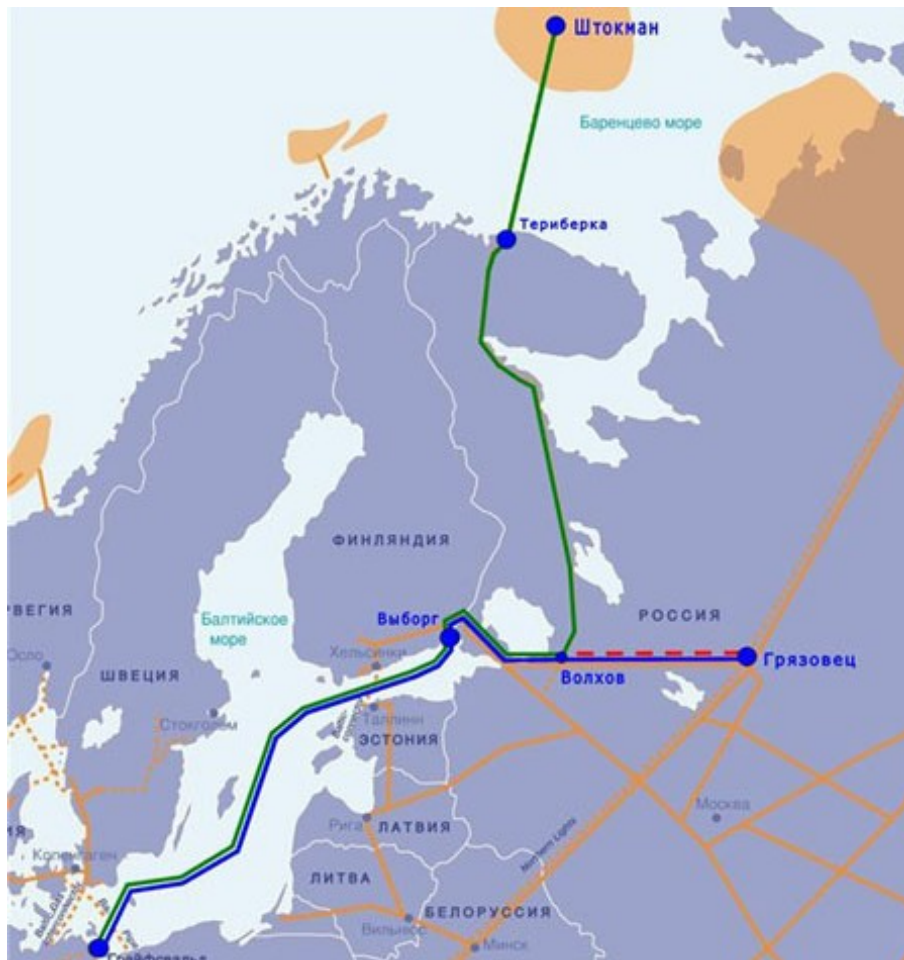


Рисунок 2 – Схема Штокмановского проекта

Несмотря на вложенные в проект 1,5 млрд долларов, участники Штокмана решили его заморозить [3, 4]. В результате прекращения работ на Штокмане Газпром потерял интерес к Мурманской области ввиду отсутствия стремительного роста энергопотребления.

По Штокмановскому проекту намечалось строительство завода по сжижению газа, резервуарного парка для хранения СПГ и морского терминала для отгрузки СПГ в районе поморского поселка Териберка на северном побережье Кольского полуострова (рис. 2) [5].

На сегодняшний день Власти считают газификацию Мурманской области невыгодной, так как по той газотранспортной системе, которая существует в Российской Федерации, газ для Мурманской области нерентабельный.



С одной стороны, важность Мурманского транспортного узла (МТУ) существенно возрастает, но развить его без достаточной обеспеченностью энергоносителями невозможно, а магистральный газопровод (МГП) протяженностью 1300 км обойдется дорого. [10]

Выход из сложившейся ситуации, по мнению экспертов, может заключаться в реализации проектов с увеличением объёма потребления электроэнергии, относительно дешёвой по сравнению с мазутом.

В правительстве разработана отдельная программа и комплексный инвестиционный проект модернизации теплоснабжения области до 2030 г. Так называемая "дорожная карта", предполагает переход на уголь. В два раза увеличится объем тепла, вырабатываемый на электродвигателях, а потребление мазута почти в четыре раза уменьшится. Помимо этого, в топливном балансе Кольского Заполярья есть торф – местный вид топлива, который заменяет мазут. Его предполагают использовать в объеме около 60 тыс. т в год [10].

На западном берегу Кольского залива компания "Новатэк" разворачивает судостроительный проект. К 2020 г. в Мурманске должны построить три плавучих завода по сжижению природного газа мощностью шесть с половиной миллионов тонн каждый. Инвестору они необходимы для обеспечения своих проектов на Ямале [7, 9] (рис. 3).

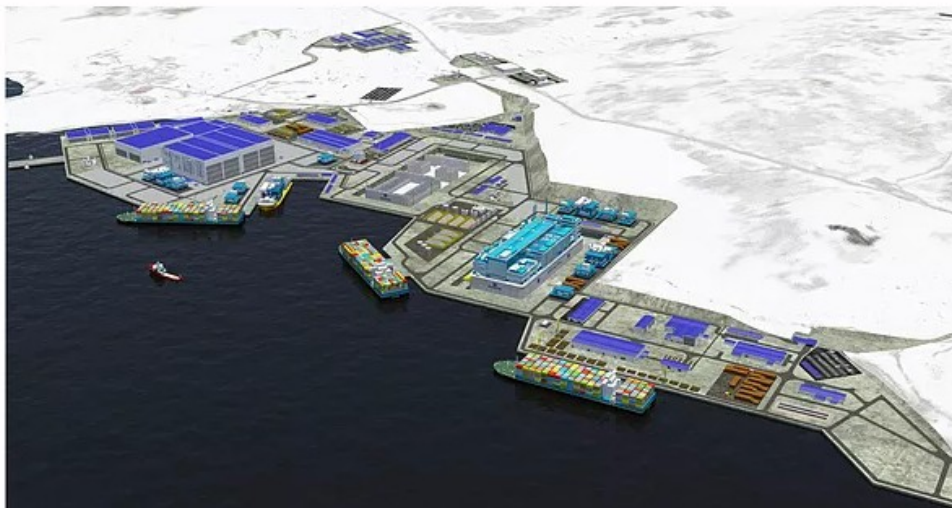


Рисунок 3 – Первый пусковой комплекс Центра строительства крупнотоннажных морских сооружений (ЦСКМС) в Мурманской области

В порту Сабетта, в рамках проекта "Ямал СПГ", 8 декабря 2017 г. произведена погрузка первой партии СПГ, произведенного на первой технологической линии проектной мощностью 5,5 млн т в год на танкер-газовоз "Кристоф де Маржери" (первый в мире газовоз ледового класса Arc7) (рис. 4) [7].

Над проектом трудилось компания "НОВАТЭК" и множество предприятий в России и за рубежом с поддержкой и помощью государства.



Рисунок 4 – Танкер-газовоз ледового класса "Кристоф де Маржери"

Ресурсной базой для реализации проекта "Ямал СПГ" является Южно-Тамбейское месторождение, открытое в 1974 г. и расположенное на северо-востоке полуострова Ямал. Уникальное месторасположение полуострова Ямал дает возможность создать гибкую конкурентоспособную логистическую модель, обеспечивающую круглогодичные поставки СПГ на рынки стран Азиатско-Тихоокеанского региона и Европы, с использованием северного морского пути (СМП) (рис. 5). Запланированный объем производства СПГ практически полностью законтрактован [12].



Рисунок 5 – Северный морской путь

Кроме Газпрома, есть еще Роснефть, у которой есть нефтегазовые интересы в Мурманской области [13].

Решения до сих пор нет, хотя Роснефть, Газпром, Минэнерго и Правительство Мурманской области мучительно пытаются определить параметры перспективной модели транспортировки газового топлива в регион.

Одним из вариантов поставок газа в Мурманскую область, является доставка СПГ с проектов Ямал СПГ, Печора СПГ, завод СПГ "Газпром газ-энергосети" в Выборгском районе Ленинградской области. [11]

По результатам проведенного исследования хотелось бы выразить надежду на объединение двух проектов, а именно начать первую фазу для воплощения Штокмановского проекта со строительства в районе Териберки морского терминала, резервуарного парка СПГ, станции регазификации и обеспечить отгрузку СПГ- Ямал с метановозов для подачи газа в Мурманский регион и этим самым глобально решить вопрос с газификацией Мурманской области, а затем после разморозки проекта Штокман начать вторую фазу реализации данного проекта.

Длина магистрального газопровода Териберка – Мурманск составит не более 100 км (рис. 6).

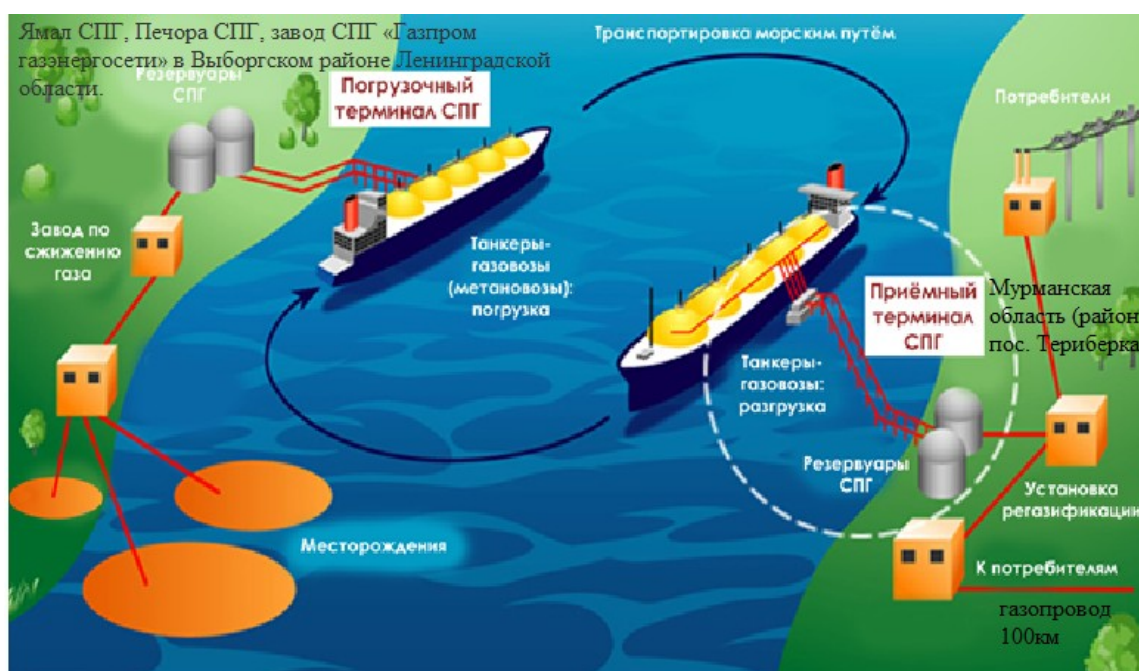


Рисунок 6 – схема поставки СПГ в Мурманскую область

## Библиографический список

1. Проекты 3 пилотных опорных зон развития арктической зоны РФ от 12 августа 2016 [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/view/152108-V-Minekonomrazvitiya-rassmotreli-proekty-3-pilotnyh-opornyh-zon-razvitiya-arkticheskoy-zony-RF>
2. Лавна воплощается в жизнь. Кузбассразрезуголь и ГТЛК договариваются о строительстве угольного терминала от 05 декабря 2016 г [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/view/156267->

Lavna-voploschaetsya-v-zhizn.-Kuzbassrazrezugol-i-GTLK-dogovarivayutsya-o-stroitelstve-ugolnogo-terminala

3. Штокмановское газоконденсатное месторождение (ГКМ) [Электронный ресурс] // – Режим доступа: ([https://neftegaz.ru/tech\\_library/view/4069-Shtokmanovskoe-gazokondensatnoe-mestorozhdenie-GKM](https://neftegaz.ru/tech_library/view/4069-Shtokmanovskoe-gazokondensatnoe-mestorozhdenie-GKM))

4. Замороженная кубышка [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://expert.ru/2012/08/29/do-luchshih-vremen/>

5. Биев А. А., Шпак А. В. " Проблемы и перспективы газификации Мурманской области" [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-gazifikatsii-murmanskoj-oblasti>

6. Штокмановский проект [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://www.shtokman.ru/>

7. Участие в церемонии загрузки первого танкера в рамках проекта "ЯМАЛ СПГ" от 07.12.2017 [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://gubernator51.ru/aktualno/fornews/?newsid=236981>

8. Развитие нефтегазовой отрасли на Мурмане от 12.07. 2016 г. [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://www.murman.ru/themes/oil-12072016.shtml>

9. Кольская верфь от 13.03. 2018г. [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://kolayard.wixsite.com/kolayard/single-post/2018/03/13/>

10. Статья Власти считают газификацию Мурманской области невыгодной от 25.03.2017 [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://www.murman.ru/themes/oil-25032017.shtml>

11. Статья "Роснефть приобрела 75 % в проекте нефтетерминала Лавна в г Мурманске" от 23.11. 2016 г., [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/view/155593-Svoy-na-34.-Rosneft-priobrela-75-v-mnogostradalnom-nefteterminale-Lavna-v-g-Murmanske>

12. Евгения Волкова, Кольские верфи. В Мурманске начнут производство плавучих платформ по сжижению природного газа. Российская газета – Экономика Северо-Запада №6836 (265) [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://rg.ru/2015/11/24/reg-szfo/platformy.html>

13. Правительство российской федерации постановление от 10.09.2016 г. N 903 "О порядке разработки и реализации межрегиональных и региональных программ газификации ЖКХ, промышленных и иных организаций" [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <https://government.consultant.ru/documents/3712464>



## Особенности формирования газогидратов в море Лаптевых

**Захаренко В. С.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Проведенный сравнительный анализ волнового поля сейсморазведки МОВ ОГТ с привлечением литературных источников, позволил выделить предполагаемые зоны формирования газогидратов и газонасыщенных толщ в пределах их зоны стабильности, что представляет научный и коммерческий интерес. Отмечена роль термогенного газа в формировании газогидратов.

**Abstract.** The comparative analysis of the wavefield of seismic prospecting of CGS MW with the use of literature sources made it possible to identify the expected zones for the formation of gas hydrates and gas-saturated sequences within their stability zone, which is of scientific and commercial interest. The role of thermogenic gas in the formation of gas hydrates is noted.

**Ключевые слова:** море Лаптевых; газогидраты; сейсморазведка; экологические риски.

**Key words:** Laptev Sea; gas hydrates; seismic prospecting; environmental risks.

**Введение.** В связи с освоением Арктики возрастает интерес и к ее восточным регионам, в частности к шельфу моря Лаптевых. Последние геолого-геофизические исследования, проведенные МАГЭ, позволяют судить о потенциальной нефтегазоносности шельфа, однако, анализ с позиций возможного скопления газогидратов не проводился. В данной работе исследования, проведенные на конкретном материале сейсморазведки МОВ ОГТ, позволяют рассмотреть предпосылки образования газогидратов не только в придонном слое, что уже ранее изучалось другими авторами [1, 2, 6, 8, 9], но и на более глубоком уровне их возможного существования в зоне стабильности. Это актуально как с позиций коммерческого освоения газогидратов, так и для оценки источников риска, при проведении дальнейших работ по освоению шельфа, вследствие взрывоопасности газогидратов.

**Зона стабильности газогидратов.** Гидрат газа представляет собой кристаллическое льдоподобное вещество, содержащее молекулы газа в клетчатой структуре льда. Для того чтобы метан оказался в связанном состоянии, нужна вода, а также температура и давление, соответствующие термодинамическим условиям стабильного существования гидрата, а также подпитка метаном зоны образования гидрата. Толщи пород, в которых соблюдаются данные условия, содержат газогидратные залежи, и называется зоной стабильности газогидратов (ЗСГ). По данным моделирования, проведенного Романовским, нижняя граница ЗСГ в море Лаптевых изменяется в пределах

1 000–700 м, уменьшаясь в сторону океана [9, 11]. Верхняя граница лежит внутри зоны вечной мерзлоты.

**Газогидраты и многолетнемерзлые породы.** Особенностью береговой зоны и шельфа моря Лаптевых является наличие многолетнемерзлых пород (ММП) или вечной мерзлоты. Мощность мерзлых толщ в целом уменьшается от прибрежной зоны, где она равна мощностям на низменностях и островах, к периферии шельфа. Уменьшение мощностей мерзлых толщ, так же как и ЗСГ, происходит по мере увеличения глубины моря. На шельфе выделены внутренняя часть, где сплошные мерзлые толщи существуют непрерывно по крайней мере 400 тыс. лет, и внешняя часть, где во время морских трансгрессий сплошные мерзлые толщи превращались в прерывистые, разоб-щенные сквозными талыми зонами [9].

Термодинамические условия, необходимые для формирования ЗСГ метана на континентах, существуют в полярных регионах в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью не менее 250–300 м. Это всегда является следствием длительного и глубокого охлаждения разреза пород. В устье реки Оленек гидратосодержащие породы залегают в интервале глубин 300–780 м в пределах современной ЗСГ как в мерзлых породах, так и в подмерзлотных отложениях [8]. Почти все скопления природного гидрата, определенные в районе Маллик, лежат ниже слоя вечной мерзлоты толщиной от 300 до 700 м на ожидаемой глубине от 890 до 1 100 м ниже поверхности дна.

Непрерывная вечная мерзлота в основном или полностью непроницаема для газа [1–3, 6, 9]. Таким образом, она может улавливать метан, продуцируемый бактериями (археями), которые находятся в анаэробных отложениях. Этот генетический тип метана называется микробным. Подобным образом вечная мерзлота может запечатывать термогенный метан, который мигрирует вверх по разломам и слабым зонам из более глубоких углеводородных скоплений (рис. 1).

Ледовый комплекс побережий морей Сибири является важнейшим источником берегового потока наносов и поступления органического углерода. Ведущим экзогенным фактором, определяющим объемы этих потоков, является криоморфогенез. Берега моря Лаптевых, содержащие ледовый комплекс, поставляют в его акваторию 72 % обломочного материала и 92 % органического углерода [Григорьев М. Н, 2006]. Эти данные подтверждают, что при формировании приповерхностных газогидратов органический углерод является основным компонентом.

**Роль термогенного газа и миграции по разломам.** Наличие ЗСГ в разрезе не говорит об обязательном нахождении газогидратов в данном интервале. Для этого необходимо помимо благоприятного сочетания термобарических и геохимических условий также наличие достаточных объемов газа-гидратообразователя. Важным фактором, контролирующим формирование сконцентрированных скоплений газогидратов, является наличие путей миграции для обеспечения подтока газа из подстилающих газоносных горизонтов. Такими путями, в первую очередь, являются разломы земной коры. В то же время, дополнительные возможности, как для вертикальной, так и латеральной миграции углеводородов могут обеспечивать наличие неотектонических разломов, нарушений и трещин в нижележащих покровных породах. Своеобразие тектонической позиции Лаптевоморской плиты состоит в том, что она приурочена к центриклинальному замыканию Евразийского суббассейна и относится к типу торцевых окраин. Ее развитие напрямую связано с процессами раскрытия Северного Ледовитого океана. Установленные закономерности в ориентировке и кинематике основных разрывных нарушений доказывают, что структуры западной части Лаптевоморского бассейна зародились в середине раннего мела и наиболее интенсивно развивались в кайнозойское время [10, 11]. Наиболее активно развивалась Усть-Ленская рифтовая зона, где наблюдается максимальная мощность кайнозойских отложений и сложная конфигурация грабенов и горстов (рис. 1).

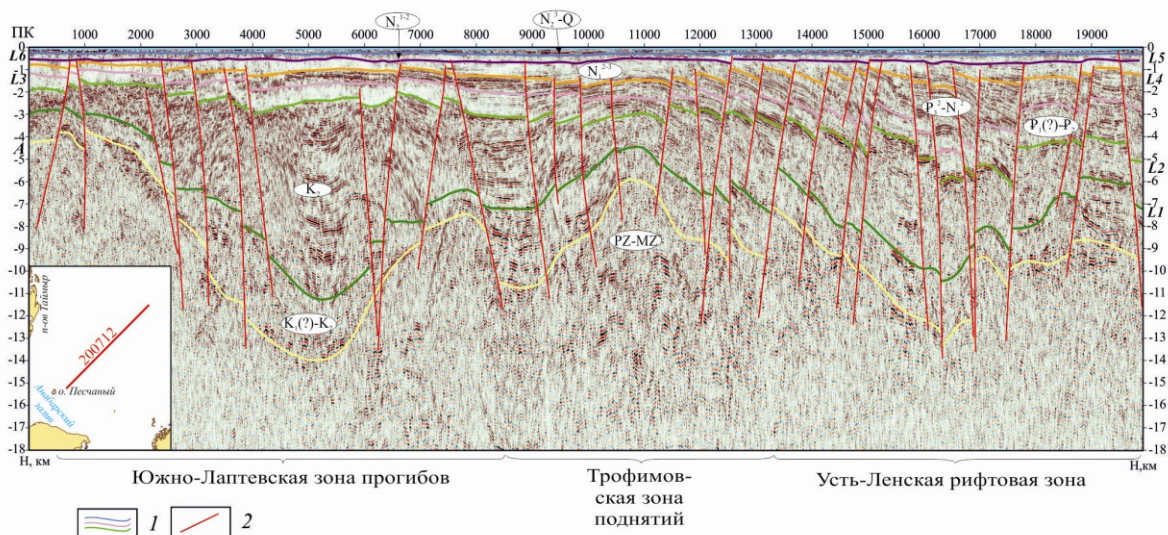


Рисунок 1 – Глубинный разрез по профилю 200712.

(Г. А. Заварзина, С. И. Шкарубо, 2011)

### **Общие представления о районе исследования и геолого-тектоническом строении**

Большая часть разломов близко подходит к зоне ММП. Под воздействием потока внутриземного тепла происходит разрушение мерзлой толщи снизу, образуя сквозные и несквозные талики, каверны, где могут скапливаться и формироваться гидраты в различных фазах своего состояния. Наибольшее разрушение и протаивание происходит в рифтах с повышенными потоками тепла (рис. 1).

На северном склоне Аляски в районе нефтяных месторождений Купарук Ривер и Прадхо-Бей по результатам исследований керна выделено шесть гидратосодержащих горизонтов с различной степенью гидратонасыщенности, которая увеличивается по падению пласта. Изотопный анализ газа показал, что в формировании газогидратов участвовал как местный, биохимический газ, так и катагенный, мигрировавший снизу (Collett et al, 1983, 1988, 1990).

Эти примеры позволяют считать, что в море Лаптевых, в условиях развитой неотектоники, термогенный газ играет важную роль в растеплении мерзлой толщи снизу, в подпитке приповерхностных газогидратов и в вероятности формирования газогидратов в более глубоких геологических горизонтах, в зоне его стабильности.

**Геологические и палеогеографические предпосылки формирования газогидратов.** По последним данным сейсморазведки МОВ ОГТ осадочный чехол Лаптевоморской плиты образован тремя крупными сейсмокомплексами: аптско-верхнемеловым, палеоцен-среднемиоценовым и среднемиоцен-четвертичным. (Заварзина, Шкарубо, 2012).

Подкомплекс L2-L3 выглядит акустически прозрачной толщей с редкими яркими отражениями. Такой характер волновой картины позволяет предположить, что отложения формировались в низкоэнергетической обстановке. Они представлены преимущественно глинистыми толщами, а отдельные динамически выраженные рефлекторы соответствуют пропласткам песчаников. В подкомплексе выделяются аномалии сейсмической записи типа "яркое пятно", которые часто расположены вблизи разломов, или прямо "упираются" в нарушения. Возраст подкомплекса L2-L3, палеоцен (?) – эоцен, а глинистая толща может рассматриваться как возможная региональная покрывка для терригенных коллекторов ниже-верхнемелового потенциально нефтегазосного комплекса. С другой стороны, она могла бы рассматриваться и как генерирующая нефть-газ-конденсат материнская толща в том случае, если она прошла стадию МК2 – МК3 преобразования ОВ. Авторы отмечают,



что эоценовое время практически в планетарном масштабе характеризуется пиком накопления ОБ сапропелевого типа в глинистых толщах, обеспечивающего генерацию преимущественно нефтяной составляющей УВ. Но нельзя исключать накопления и какой-то части гумусовой органики. Подкомплекс L3-L4 характеризуется чередованием низкочастотных интенсивных отражений с высокочастотными отражениями, что свидетельствует об изменчивости мощности пластов по вертикали.

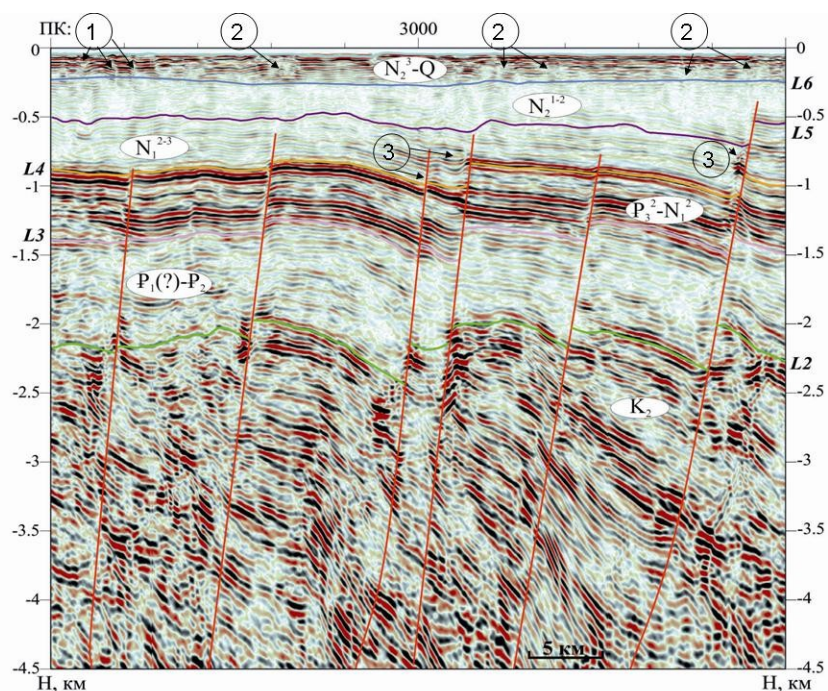


Рисунок 2 – Фрагмент профиля 200712. (Интерпретация Г. А. Заварзиной и С. И. Шкарубо, 2012, с добавлениями В. С. Захаренко, 2018):

1 – сквозные и несквозные талики; 2 – локальные скопления приповерхностных газогидратов, часто лежащие на продолжении разломов; 3 – возможные скопления газогидратов, приуроченные к разломам; L2 – L5 – основные отражающие горизонты; L4 – соответствует предполагаемой подошве зоны ЗСГ (глубина 800–1 100 метров)

В зоне стабильности газогидратов (до 800–1 000 м) лежит среднемиоцен-четвертичный комплекс "L4 – дно". Предположительно, нижняя часть комплекса (толща L4-L5) сложена терригенными песчано-глинисто-алевритовыми породами. Они благоприятны для формирования пластов-коллекторов. В верхней части подкомплекса (толща L5-L6, плиоцен-четвертичный возраст), судя по прозрачной сейсмической записи, залегает умеренно консолидированная толща глинистых пород мощностью 300–500 м. Она может обеспечивать сохранность возможных залежей в нижележащих слоях. Отражающий горизонт L5 сопоставим с несогласием между миоценом и плиоценом. Конец позднего миоцена – этап глобального понижения уровня Ми-

рового океана, вызвавший осушение шельфов, известный в геологической литературе как "мессинская регрессия", что, по мнению Зархидзе, положило начало стабильному похолоданию.

Буровыми и сейсморазведочными работами в различных частях мира установлено, что газовые гидраты не распределены по всему объему ЗСГ, а образуют скопления в породах коллекторах. Причем гидратопроявления были зафиксированы как в породах с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (пески, песчаники, трещиноватые карбонаты), так и в слабопроницаемых отложениях (глины, илы, аргиллиты). Если в высокопроницаемых породах гидраты накапливаются в поровом пространстве, то в низкопроницаемых породах гидраты образуют текстуры – гидратные включения различной формы, разделенные участками породы, практически не содержащими гидраты.

Бурение в дельте р. Маккензи (Канада) на глубину 1 160 м ниже поверхности суши подтвердило существование в общей сложности около 110 м комбинированных 50–90 % насыщенных газом гидратов, несущих неконсолидированные среднезернистые интервалы песчаных пластов в переслаиваемых песках, песчаниках, илах и алевролитах. Пористость песчаников, содержащих гидраты, очень высокая – от 30 до 40 %. Также высока и гидратонасыщенность – от 40 до 90 %. Наиболее насыщен гидратами нижний пласт, подошва которого совпадает с нижней границей зоны стабильности гидратов. Газ, заключенный внутри клатратов, является преимущественно термогенным метаном, который образуется в результате термического изменения органического материала. Учитывая химические и углерод-изотопные составы органического вещества, органический материал преимущественно состоит из множества высших наземных растений с земным происхождением.

Сопоставляя волновую картину сейсмической записи с вышеописанными примерами, можно заключить, что в море Лаптевых, в зоне стабильности гидратов до глубин примерно 800–1 000 м (нижняя граница – горизонт L4) могут образовываться газогидраты, потенциально представляющие коммерческий интерес. В их образовании значительную роль играет вертикальная миграция термогенного газа, а геологические условия благоприятны для скопления в породах-коллекторах.

Дополнительный анализ изменения температуры с глубиной подтверждает наличие необходимых термобарических условий. Согласно данным термометрии по пробуренным ранее скважинам на Медвежинском месторождении [7], (данные ООО "ТюменНИИгипрогаз"), в интервале 0–450 м тем-

пературный градиент близок к нулю, что связано с наличием многолетней мерзлоты. Ниже по разрезу температурный градиент повышается до 2.8–3,0, а при глубине забоя 850–1 050 м, пластовые температура и давление составляют соответственно 16–20 °С и давление 107–134 атмосфер, что соответствует устойчивой фазе газ-гидрат-вода.

### **Выводы**

1. Анализ и дополнительная интерпретация сейсмических разрезов, показал, что в зоне стабильности гидратов до глубин примерно 800–1 000 м, могут образовываться газогидраты и газонасыщенные толщи, потенциально представляющие коммерческий интерес, а также локальные скопления. В их образовании значительную роль играет вертикальная миграция термогенного газа, а геологические условия, в результате трансгрессивно-регрессивных циклов, благоприятны для скопления в породах-коллекторах.

2. В море Лаптевых, в условиях развитой неотектоники, термогенный газ, в процессе вертикальной миграции, играет важную роль в растеплении мерзлой толщи снизу, в подпитке приповерхностных газогидратов и определяет вероятность формирования газогидратов и газонасыщенных толщ в более глубоких геологических горизонтах в пределах зоны стабильности. В приповерхностном слое, в разрезе мерзлых пород по данным предыдущих исследователей, по-видимому, преобладает биохимический (микробный) газ.

3. Повышенную взрывоопасность представляют локальные скопления газогидратов в придонном слое, часто лежащие на продолжении разломов, а также газогидраты более глубокого уровня, непосредственно приуроченные к разломам. Эта опасность возрастает в случае усиления тектонической активности.

4. Скопления газогидратов могут быть индикаторами перетоков газа, связанных с нижележащими нефтегазовыми месторождениями и являться дополнительным фактором, подтверждающим углеводородную перспективность данного района.

5. При освоении месторождений на шельфах Арктики изучение гидратонасыщенности отложений имеет важное значение для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с разложением пластовых газогидратов.

### **Благодарности:**

Автор выражает искреннюю благодарность гл. геологу ОАО МАГЭ, к. г.-м. н. С. И. Шкарубо и д. г. н. М. Н. Григорьеву за ценные советы и замечания.

### Библиографический список

1. Григорьев М. Н., Разумов С. О., Куницкий В. В., Спектор В. Б. Динамика берегов восточных арктических морей России: основные факторы, закономерности и тенденции // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 4. – с. 74–94.
2. Григорьев М. Н. Морфология и динамика преобразования подводной мерзлоты в прибрежно-шельфовой зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // Наука и образование, 2006, № 4, с. 104–109.
3. Дмитриевский А. Н., Баланюк И. Е. Газогидраты морей и океанов – источник углеводородов будущего. – М. : ООО "ИРЦ Газпром", 2009. – 416 с.
4. Захаренко В. С., Шлыкова В. А., Радченко М. С. Роль эндогенной составляющей в формировании углеводородов в переходной зоне "континент – океан" Шпицбергенско-Баренцевской континентальной окраины // Вестник МГТУ, Том 19, 2016 г., 1 выпуск, 2 часть, с. 176–183.
5. Захаренко В. С. Потенциальный экологический риск, связанный с газогидратами на Западно-Арктической континентальной окраине // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 4. С. 21–26.
6. Романовский Н. Н., Хуббертен Х.-В., Гаврилов А. В., Елисеева А. А., Типенко Г. С., Холодов А. Л., Романовский В. Е. Эволюция мерзлых толщ и зоны стабильности гидратов газов в среднем плейстоцене – голоцене на шельфе восточной части Евразийской Арктики // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 4. С. 51–64.
7. Ильин А. В. Методика определения коэффициента нефтегазо-насыщенности в надсеноманских отложениях в Надым-Пур-Тазовском районе Западной Сибири // Каротажник. Тверь : Изд. АИС. 2008. Вып. 168. – С. 13–20.
8. Сафронов А. Ф., Шиц Е. Ю., Григорьев М. Н., Семенов М. Е. К проблеме образования газогидратных залежей на шельфе арктических морей сибиря // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 1. – с. 106–112.
9. Леонов С. А., Перлова Е. В., Якушев В. С. Скопление природных газогидратов – как индикаторы более глубоких залежей нефти и газа. – М. : ООО "ИРЦ Газпром", 2007. – 69 с.
10. Шкарубо С. И., Заварзина Г. А. Стратиграфия и характеристика сейсмических комплексов осадочного чехла западной части шельфа моря Лаптевых // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. № 2. [www.ngtp.ru](http://www.ngtp.ru)

11. Шкарубо С. И., Заварзина Г. А., Зуйкова О. Н. Результаты современного этапа изучения Лаптевоморского шельфа: от гипотез к новым фактам и проблемам // Разведка и охрана недр, 2014, № 4. – С. 23–30.

## Анализ проявлений приповерхностного газа донных отложений

**Коротаев Б. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Аварийность на морских нефтегазовых объектах, обусловленная наличием приповерхностного газа [1]. Выброс газа происходил при отборе керна инженерно геологическим судном, скважины 480 и 481, при морском разведочном бурении ППБУ Полярная Звезда вскрыла приповерхностный газ. Выброс газа привел к образованию воронки на морском дне.

**Abstract.** Accident on offshore oil and gas facilities, due to the presence of near-surface gas. The gas release occurred during the selection of the core by an engineering geological vessel, wells 480 and 481, during offshore exploratory drilling, the Polar Star opened the near-surface gas. The release of gas led to the formation of a funnel on the seabed.

**Ключевые слова:** приповерхностный газ, газовый карман, инженерно геологические изыскания, морское разведочное бурение.

**Key words:** near-surface gas, gas pocket, engineering geological survey, offshore exploratory drilling.

**Введение.** При инженерно-геологических работах, а также при морском разведочном бурении время от времени вскрывают газонасыщенные интервалы, залегающие на небольшой глубине. Такой газ называют приповерхностным газом. Приповерхностный газ, попадая в акваторию под буровым судном, разуплотняет морскую воду и может произойти потеря устойчивости судна. В таких случаях при морском разведочном бурении применяют дивертор.

Дивертор предназначен для отвода бурового раствора и приповерхностного газа при проявлении. При использовании дивертора скважину не закрывают (превентор при этом не используется) поскольку находящийся под башмаком обсадной колонны (направлением), пласт не выдерживает давлений, возникающих при закрытии скважины, и имеется возможность образования грифона. Когда спущено только направление или кондуктор может произойти прорыв газа на поверхность – грифон, что в свою очередь может стать причиной пожара [2].

Таким образом, дивертор в основном используется при бурении верхних интервалов (20–700 м). В морском разведочном бурении при использовании дивертора газ по диверторной линии стравливают в атмосферу с учетом розы ветров. Существуют способы оценки количества приповерхностного газа, основанные на данных высоты фонтана и времени фонтанирования, а также производится и оценка порового давления приповерхностного газа.

Рассмотрим инженерно-геологическую скважину № 481, на которой произошло фонтанирование газа (рис. 1).

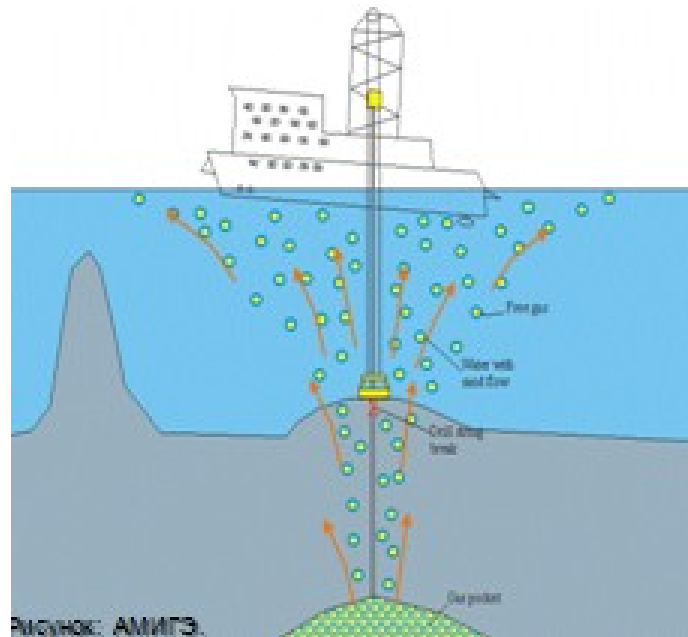


Рисунок 1 – Модель выброса газа из донных отложений

Оценка порового давления, колеблется в интервале от 4 атм. до 8.2 атм. (рис. 2). Уточненный расчет порового давления по средневзвешенной плотности пород дал следующий результат – 6.2 атм. Рассмотрим возможность залегания газогидратов в данном случае.



Рисунок 2 – Данные для оценки величины порового давления

На данной глубине при рассмотренных РТ условиях газогидратов нет. Тогда делаем предположение, что это заземленный газ.

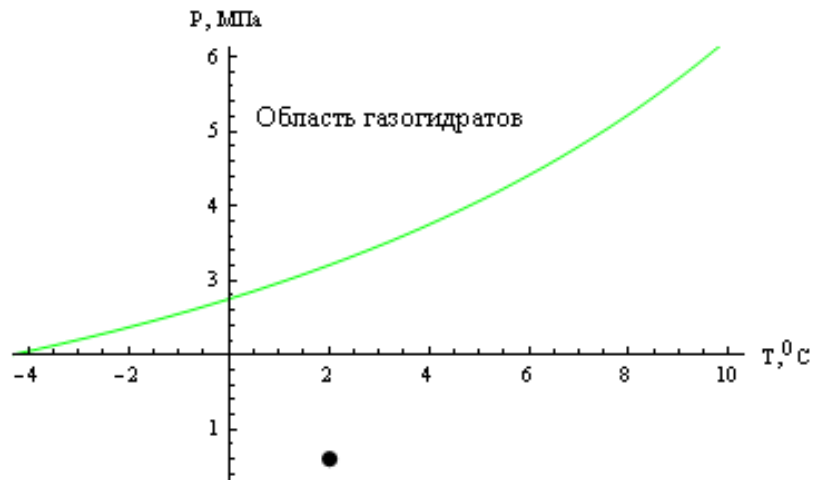


Рисунок 3 – Кривая равновесного состояния газогидрата метана

Рассмотрим второй случай проявления приповерхностного газа на скв. 481.

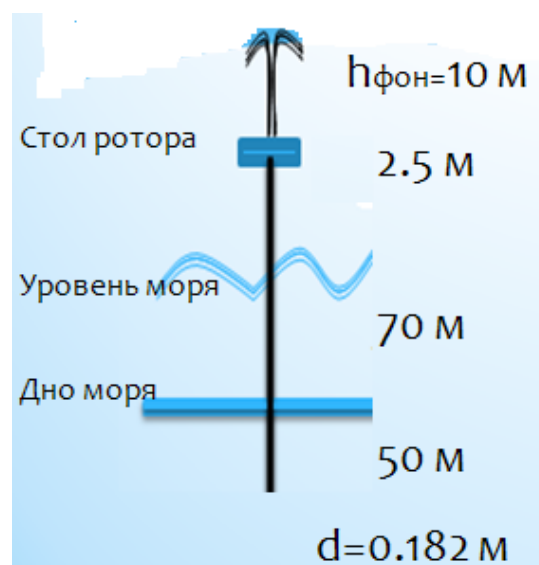


Рисунок 4 – Данные для оценки величины порового давления

Расчет порового давления в приповерхностной ловушке газа инженерно-геологической скважине № 481 дал следующий результат: 12.9 атм. и 20 атм. Расчеты по данным донных отложений АМИГЕ привели к следующему результату: 15 атм. Также рассмотрим возможность залегания газогидратов и в данном случае.

В диапазоне температур от  $-2$  до  $+2$  °C условий для образования газогидратов нет. Если приповерхностный газ залегают в свободном состоянии, то выброс газа будет постоянным некоторое время с постепенным умень-



шением высоты фонтана. Если выброс газа наблюдается с перерывами, то это возможно идет разложение газогидратов.

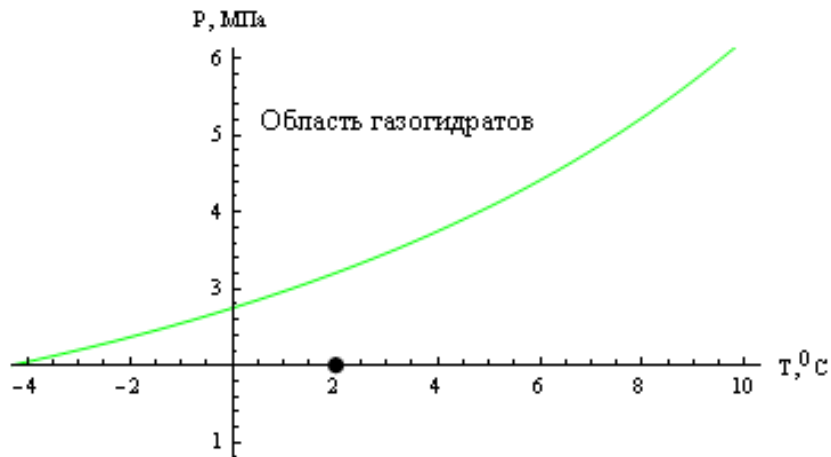


Рисунок 5 – Кривая равновесного состояния газогидрата метана

Рассмотрим выброс газа при бурении морской скважины. Бурение вела ППБУ "Полярная Звезда". Выброс газа произошел с 220 м от дна моря. Оценим возможность образования газогидратов.

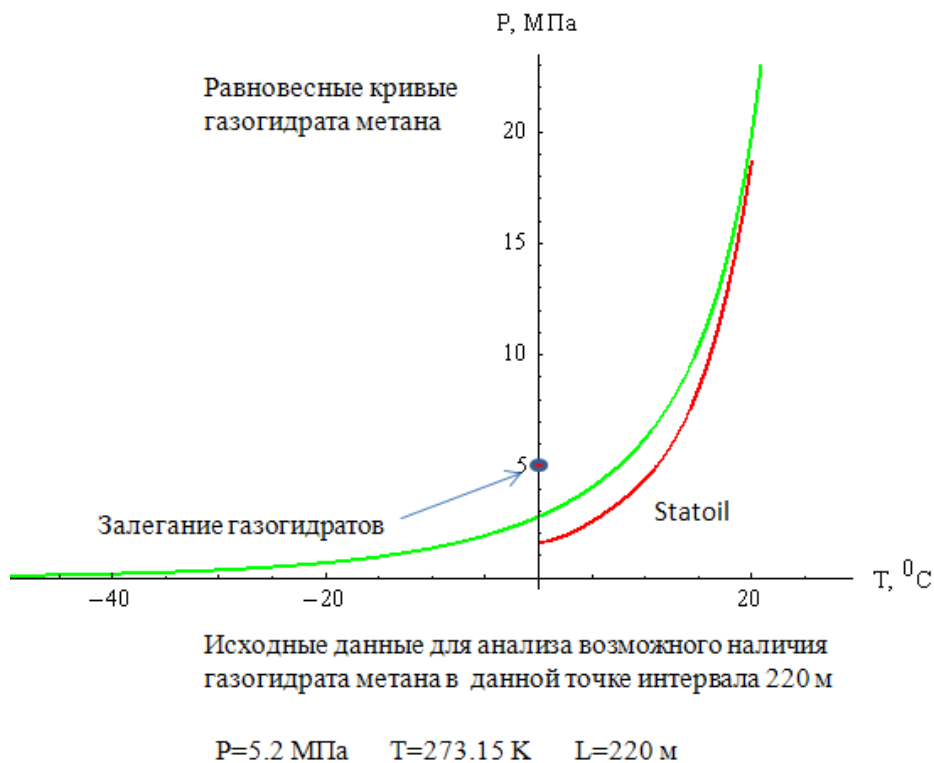


Рисунок 6 – Кривая равновесного состояния газогидрата метана

Как видно из рисунка существуют условия залегания газогидратов. При разложении газогидратов происходит вывал породы из стенок скважины и характер проявления пульсационный. На дне образовалась воронка диа-

метром 25 м и глубиной 4 м. Есть условия залегания газогидратов и характер проявления говорит о их разложении. Если скважину глушить утяжеленным буровым раствором, то возможен гидроразрыв и выход грифона на дно моря (рис. 7).

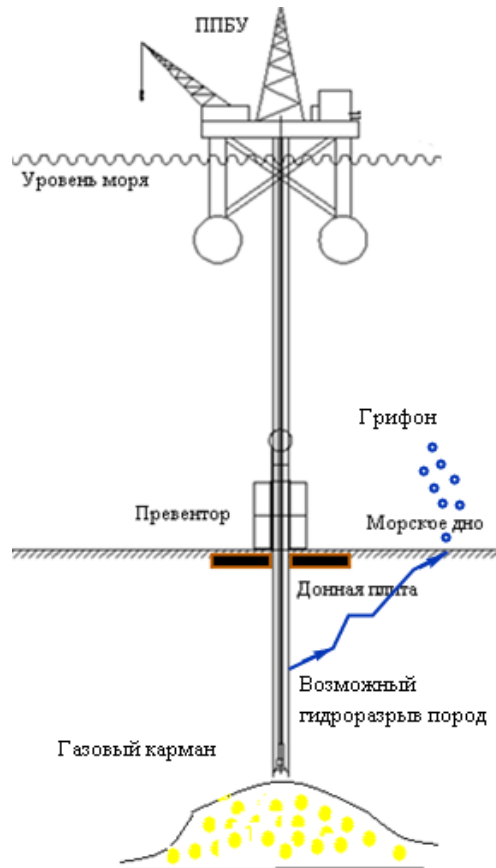


Рисунок 7 – Схема образования грифона

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$P_2 = \rho_{\text{гл}} g L$$

$$P_1 = P_{\text{пл}}$$

$V_1$  – объем газового кармана

$V_2$  – объем газа в залежи после глушения

где  $\rho_{\text{гл}}$  – плотность раствора глушения,  $P_1$  – давление в газовом кармане. После глушения давление в газовом кармане как под поршнем несколько увеличится, что может быть больше давления гидроразрыва пород донных отложений.

Другими словами газовый карман при глушении увеличивает свое давление и может привести к образованию грифона.

Следующая схема реального цементирования кондуктора подтверждает такое допущение образования грифона.

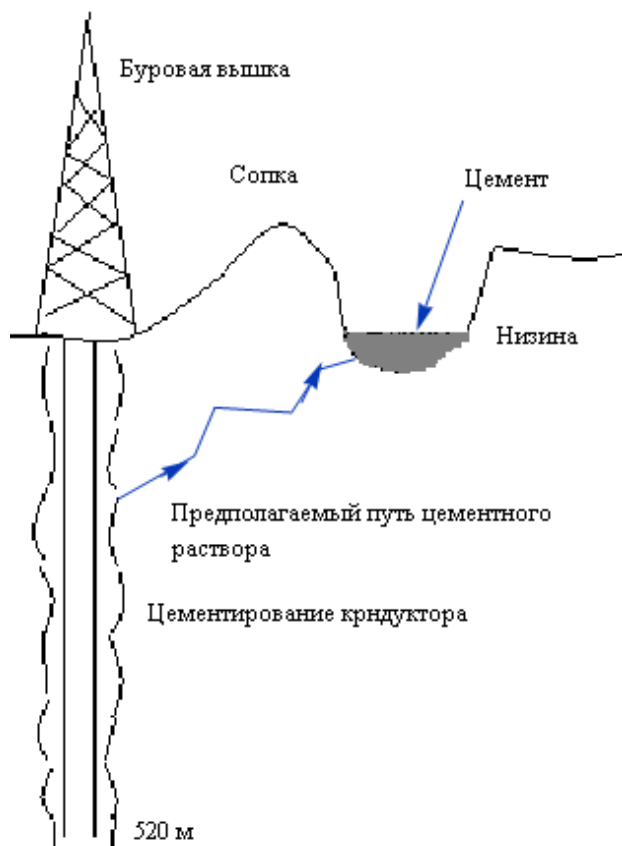


Рисунок 8 – Схема цементирования кондуктора на острове Колгуев

При цементировании кондуктора закачали в скважину один объем цементного раствора, на устье цемент не появился. Затем операцию дважды повторили, но цемента на устье скважины не обнаружили. Спустя время обнаружили цементное озеро в низине между сопками. На рис. 9 приведена стандартная технология забуривания на Арктическом шельфе. Данная технология позволяет газу подниматься по КЗП, далее через райзер и дивертор опрavlяться по розе ветров или в накопитель газа.

### Заключение

Таким образом, приповерхностный газ представляет собой опасность и проблему при бурении пилотного ствола. Но применение стандартной технологии бурения донных интервалов с наличием райзера и применением дивертора позволяет избежать проблемы бурения пилотного ствола и исключает возможность выхода приповерхностного газа на дно моря или образования грифона. Особенно это актуально для морских инженерно геологических изысканий и при разведочном морском бурении. Газовый фонтан при инженерно-геологических изысканиях (рис. 10).

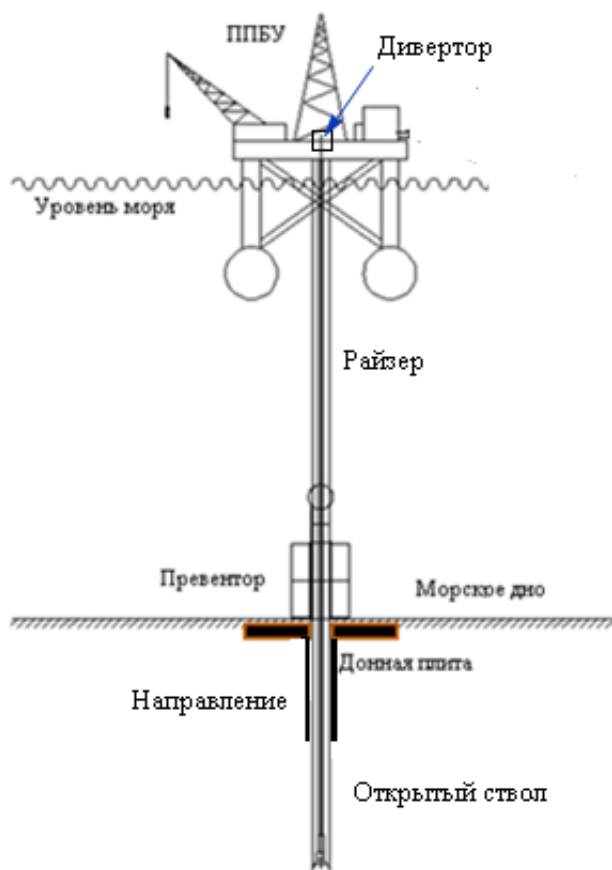


Рисунок 9 – Стандартная технология забуривания

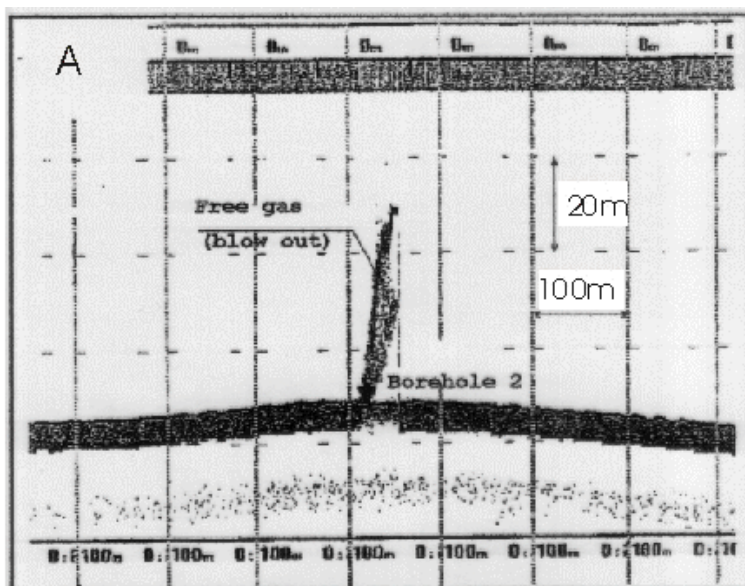


Рисунок 10 – Газовый фонтан на морском дне. (Опубликовано с разрешения АМИГЕ)

### Библиографический список

1. Миронюк С. Г. Эффекты внезапных выбросов газов из донных отложений и их опасность для морских сооружений и буровых судов.
2. International Well Control Forum. AMNGR Education Centre. 1995 г.

## Исследование возможности применения водорослей в качестве био-компонента бурового раствора

**Кочетков Д. А., Севостьянов И. Д.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** В данной работе рассмотрена возможность применения водорослей (ламинарии сушеной измельченной) в качестве био-компонента для бурового раствора, измерены основные свойства и показатели, характерные для буровых растворов. Произведен анализ полученных значений для биораствора, сравнение с основными показателями и свойствами других буровых растворов. Экономический фактор в исследовании не учитывался.

**Abstract.** The main purpose of this work was to examine the possibility of using seaweed (shredded and dried Laminaria) as a drilling mud component and measured the main characteristics of this mud. Also during the research the main properties and features of seaweed-based drilling mud was analyzed and compared with other drilling muds. The economic factor was not taken into account.

**Ключевые слова:** Буровой раствор, водоросли, ламинария, экология, биораствор, био-компонент, бурение, Арктика, экологические проблемы.

**Key words:** Drilling mud, seaweed, Laminaria, ecology, bio drilling mud, bio-component, drilling, Arctic, ecological problems.

В данном исследовании были рассмотрены основные свойства бурового раствора при добавлении в него водорослей (ламинария), а также было произведено сравнение его свойств с растворами, содержащими карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ) и модифицированный крахмал, а также с обычным бентонитовым раствором без добавления компонентов.

Для исследования были приготовлены 3 различных раствора, в каждый из которых был добавлен один из трех компонентов в количестве 1% от массы раствора. Каждый из растворов был тщательно перемешан. За основу был взят бентонитовый раствор плотностью  $1.2 \text{ г/см}^3$  с добавлением порошка барита в качестве утяжелителя для раствора [1]. Раствор с добавлением водорослей был дополнительно выдержан в течение 1 часа 30 минут. Исследование проходило в несколько этапов.

На первом этапе исследования было измерено изменение значений вязкости в зависимости от температуры от  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 1).

Исследование вязкости проводилось при помощи ротационного вискозиметра "OFITE" для каждого раствора отдельно. Для нагревания раствора использовался термостат. На основе измеренных значений вязкости по фор-

мулам был произведен расчёт статического напряжения сдвига за 10 минут (рис. 2) и 10 секунд (рис. 3) для исследуемых буровых растворов.

На втором этапе исследования была измерена способность водоотдачи для каждого раствора под давлением 0.7 МПа в течение 30 минут при помощи фильтровального пресса "OFITE Filter Press" (рис. 4).

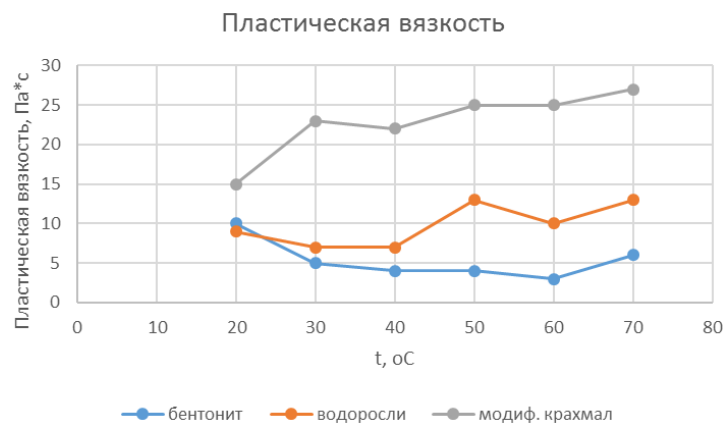


Рисунок 1 – Изменение значений пластической вязкости в зависимости от температуры

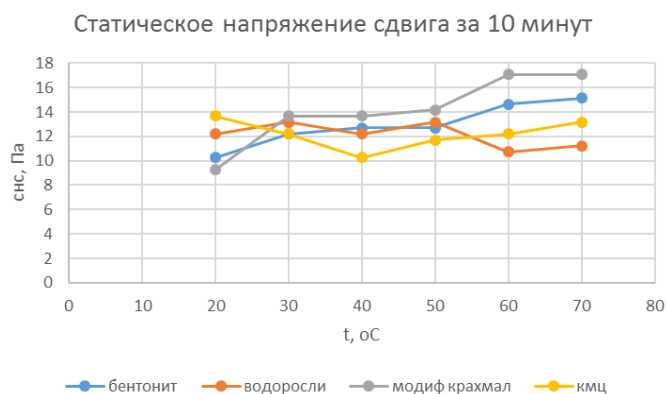


Рисунок 2 – Изменение значений статического напряжения сдвига за 10 минут в зависимости от температуры

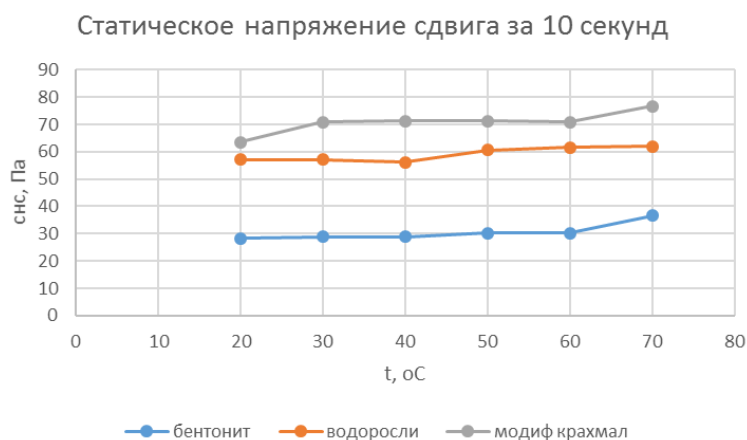


Рисунок 3 – Изменение значений статического напряжения сдвига за 10 минут в зависимости от температуры

Был произведен замер толщины фильтрационной корки (рис. 5).

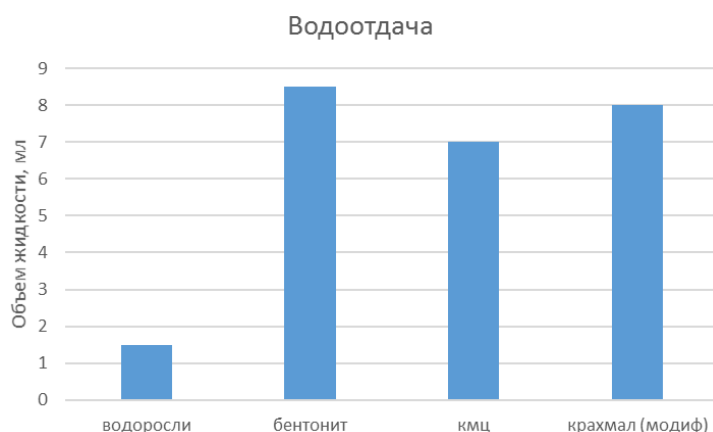


Рисунок 4 – Водоотдача буровых растворов с добавлением различных компонентов



Рисунок 5 – Толщина фильтрационной корки буровых растворов с добавлением различных компонентов

Также было измерено значение уровня кислотности фильтрата (рис. 6).

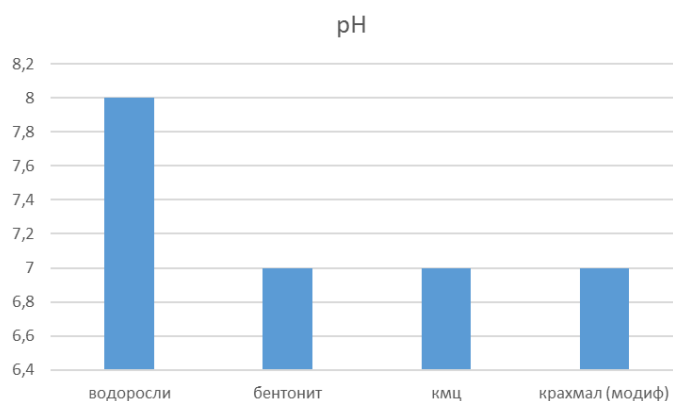


Рисунок 6 – Значение кислотности фильтрата буровых растворов с добавлением различных компонентов

Актуальность работы заключается в том, что большая часть используемых в настоящее время месторождений углеводородов крайне истоще-

на или исчерпана, в результате чего приходится искать новые области добычи. Одним из таких регионов является Арктика, однако местная природа крайне чувствительна, в связи с чем важно использовать максимально безопасные для окружающей среды методы и средства добычи. Применение биоразлагаемых компонентов в буровых растворах позволит частично решить эту задачу и серьезно снизить нагрузку на окружающую среду.

Заключением к работе является возможность применения биокомпонентов для замены химически опасных веществ при изготовлении буровых жидкостей, особенно в Арктическом регионе. Применение биоразлагаемых компонентов в растворе позволяет сделать его более экологичным и безопасным [2]. Водоросли могут применяться в качестве смазывающей и уменьшающей трение добавки для бурового раствора [3]. У данного раствора наблюдались хорошие реологические свойства, низкая коррозионная активность, малая толщина фильтрационной корки и водоотдача.

### **Библиографический список**

1. Рязанов А. Я. Справочник по буровым растворам / А. Я. Рязанов. – М. : Недра, 1979. – 215 с.
2. Булатов, А. И. Буровые промывочные и тампонажные растворы / А. И. Булатов, П. П. Макаренко, Ю. М. Проселков. – М. : Недра, 1999. – 424 с.
3. Булатов, А. И. Справочник по промывке скважин / А. И. Булатов, А. И. Пеньков, Ю. М. Проселков. – М. : Недра, 1984. – 317 с.



## Расчет количества ингибиторов в модели газопровода

Макиян Т. Г., Землянов Е. Г. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Рассмотрена методика применения ингибиторов в газопроводе. Проведены расчеты с помощью которых было определено количество диэтиленгликоля и метанола, которое следует ввести в поток газа для предотвращения образования гидратов. При сравнении расчетов мы сделали вывод о том какой ингибитор более экономичен.

**Ключевые слова:** ингибитор, газогидрат, газопровод, водяной пар.

Актуальность работы заключается в обеспечении бесперебойной подачи газа газодобывающими и газотранспортными предприятиями зависит от процесса образования гидратов в стволах скважин, в промысловых коммуникациях и в технологическом оборудовании [1]. Процесс образования гидратов при транспорте природного газа приводит к уменьшению эффективного сечения трубопровода. Поэтому вопросы, связанные с изучением процессов образования гидратов и разработкой методов борьбы с ними, имеют важное практическое значение [2].

Цель работы заключается в расчете количества ингибиторов в модели газопровода.

На первом этапе нашего исследования мы согласно номограмме, определили количество воды, конденсирующейся на каждые  $1\ 000\ \text{м}^3$  газа.

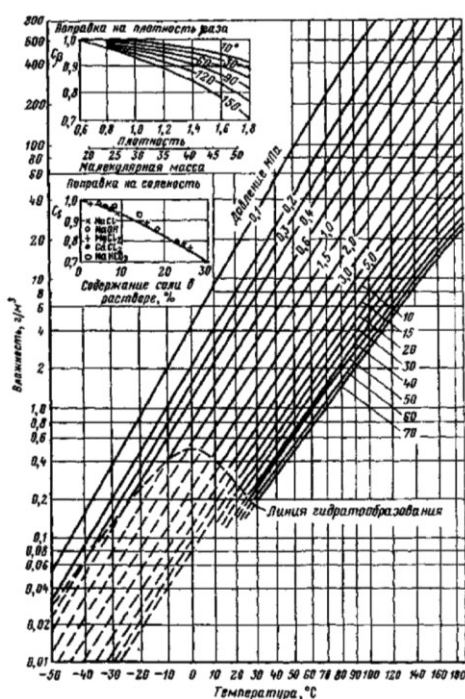


Рисунок 1 – Номограмма равновесного содержания водяного пара в природном газе

Расчет:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 0,9 - 0,8 = 0,1 \text{ кг.}$$

На втором этапе определили количество диэтиленгликоля (рис. 2), которое следует ввести в поток газа для предотвращения образования гидратов.

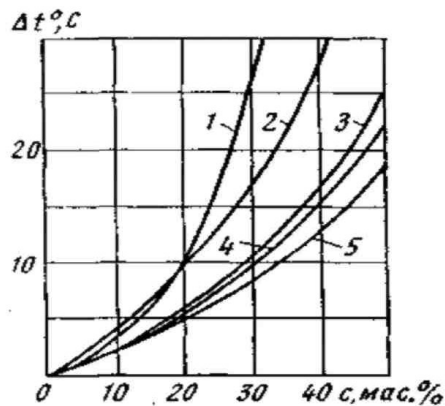


Рисунок 2 – Снижение температуры гидратообразования в зависимости от концентрации отработанного ингибиора:  
1 –  $\text{CaCl}_2$ ; 2 –  $\text{CH}_3\text{OH}$ ; 3 – ТЭГ; 4 – ДЭГ; 5 – Эг

Расчет:

$$q = (W_1 - W_2) * C_2 / (C_1 - C_2).$$

$$q = 0,1 * 35 / (70 - 35) = 0,1 \text{ кг на } 1 \text{ 000 м}^3, \text{ удельный расход гликоля.}$$

Суточный расход ДЭГ составит:

$$q_{\text{сут}} = 0,1 * 920 = 92 \text{ кг.}$$

На третьем этапе определяем количество метанола (рис. 3).

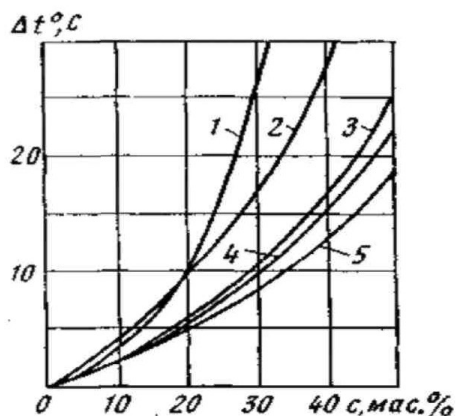


Рисунок 3 – Снижения температуры гидратообразования в зависимости от концентрации отработанного ингибиора  
1 –  $\text{CaCl}_2$ ; 2 –  $\text{CH}_3\text{OH}$ ; 3 – ТЭГ; 4 – ДЭГ; 5 – Эг

Расчет:

$q = 0,1 * 23 / (93 - 23) = 0,032$  кг на 1 000 м<sup>3</sup>, удельный расход метанола.

Суточный расход метанола составит:

$$q_{\text{сут}} = 0,032 * 920 = 29,4 \text{ кг.}$$

**Вывод:** входе данной работе, проанализировав полученные нами количества ингибиторов (метанола и диэтиленгликоля) для предотвращения гидратообразования, можно сделать вывод, что для данных условий в нашей модели будет выгоднее использовать метанол, так как его расход будет почти в 3 раза меньше, чем расход диэтиленгликоля. Также, исходя из экономических соображений, будет выгоднее применить метанол, нежели ДЭГ.

### **Библиографический список**

1. Дегтярев Б. В., Бухгалтер Э. Б. Борьба с гидратами при эксплуатации газовых скважин в северных районах. – М. : Недра, 1976. –197 с. [1].
2. Коротаев Ю. П., Кулиев А. М., Мусаев Р. М. Борьба с гидратами при транспорте природных газов. – М. : Недра, 1973. – 136 с. [2].

## Анализ работы воздушной пружины

**Островский А. А., Велиев Р. Я. Коротаев Б. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового дела)

**Аннотация.** Проведенные опыты позволили рассмотреть поведение газа при различных PVT условиях. Создана схематичная модель молекулярного строения газа. Построена диаграмма, показывающая поведение воздуха под поршнем при его нагревании.

**Ключевые слова:** воздушная пружина, модель газа, свободный объем молекул, работа газа.

В данном исследовании была предпринята попытка провести анализ работы воздушной пружины при подводе теплоты путем проведения различных опытов.

На первом этапе нашего исследования была создана схематичная модель газа при помощи опыта, суть которого заключалась в том, что молекулы газа были представлены в виде стальных шаров, помещенных в стеклянную колбу. Был рассчитан объем шаров и их количество в объеме 5 мл, а также получен коэффициент  $k$ , показывающий соотношение между теоретическим и практическим объемом шаров:  $k = 1.879$ . Был сделан вывод о том, что для расчёта количества молекул необходимо учитывать свободный объем молекулы.

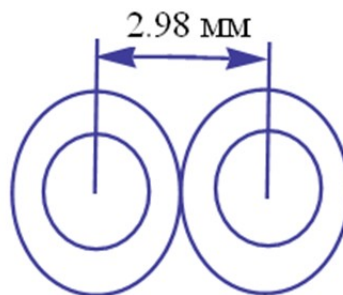


Рисунок 1 – Расстояние между шарами, рассчитанное в Wolfram Mathematica

На втором этапе был проведён опыт с динамометром, для определения зависимости между силой сопротивления и объемом при различных температурах. Был сделан вывод о том, что при больших температурах газ менее сжимаем.

На третьем этапе был проведен ряд опытов, в которых был взят шприц с непроницаемой прокладкой с одной стороны и герметично запаянный с другой. Он нагревался в водяной бане до различных температур с различными нагрузками на поршень. Был сделан вывод о том, что количество теплоты, полученное системой, может идти на увеличение внутренней энергии и/или на работу системы против внешних сил.

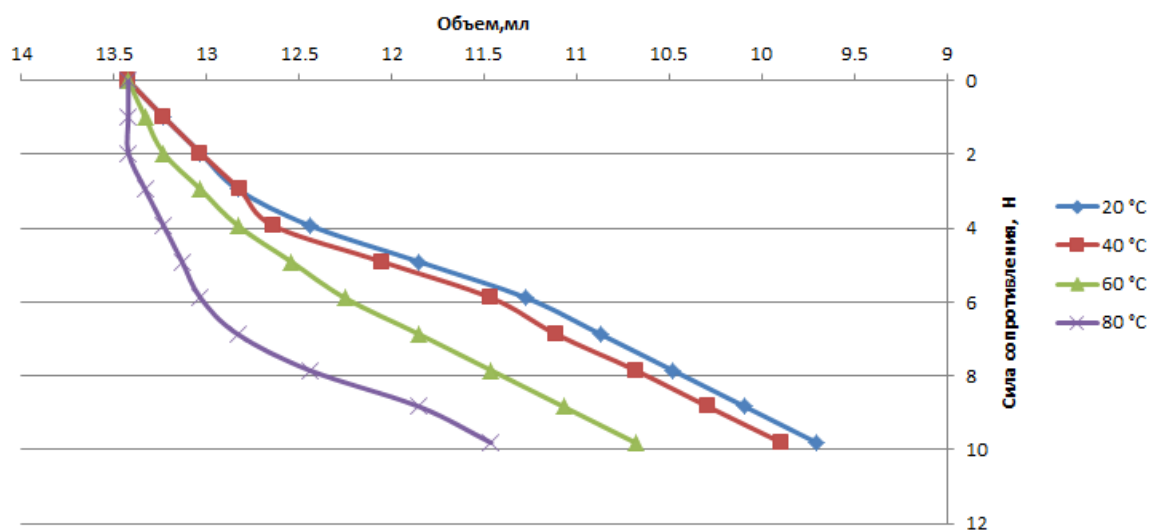


Рисунок 1 – Поведение воздуха при нагрузке при различных температурах

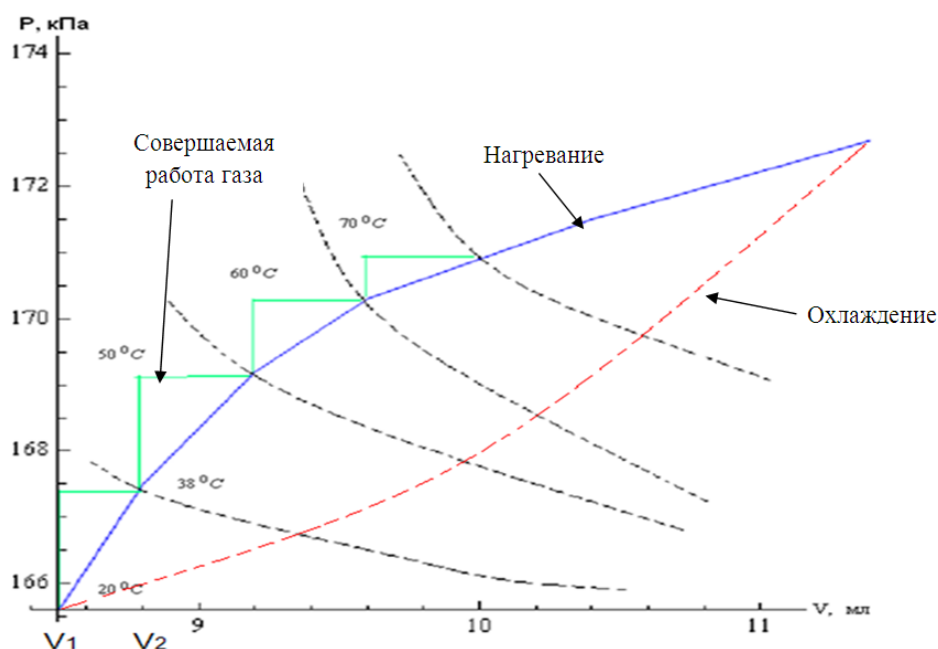


Рисунок 2 – PV диаграмма, показывающая поведение воздуха под поршнем при его нагреве

Актуальность работы заключается в том, что поведение газа при различных термобарических условиях необходимо детально понимать, это связано с тем, что пневматические системы имеют широкое использование во многих отраслях, в том числе и при добыче углеводородов. Пневматические устройства используют поршни и клапаны для управления потоками газа (воздуха), но есть целая ветвь устройств, использующих особенности течения струй газа и жидкости в каналах определенной формы. Такие струйные устройства не имеют подвижных деталей, отличаются дешевизной изготовления и высокой стойкостью к температуре и радиации. Актуальность для Арктического региона заключается в том, что пневматические системы при низких температурах работают более надежно, чем гидравлические аналоги, а также являются более надежными, экологическими и безопасными. Отработанный воздух можно выпустить в атмосферу и это не повредит хрупкой экосистеме Арктики.

Выводами по результатам нашей работы является то, что каждой температуре соответствует своя величина работы, а также то, что если в молекулярно-кинетической теории за частицу принимается шар, то для определения количества шаров нельзя делить объем сосуда на объем шара. Данную работу рекомендуется применять в учебных целях на старших курсах.

### **Библиографический список**

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М. : Наука, 1990. – 591 с.
2. Трофимова Т. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. шк., 1990. – 478 с.
3. Гуйго Э. И., Данилова Г. Н., Филаткин В. Н. и др. Техническая термодинамика / Под общ. ред. проф. Э. И. Гуйго. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 296 с.

## Изучение образования газогидратов на Арктическом шельфе: проблемы и перспективы

Тишин А. М., Антошина М. Е., Захаренко В. С. (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра морского нефтегазового)

*Актуальность работы:* Газогидраты являются перспективным источником природного газа на Земле. Их называют "топливом будущего" Они могут составить реальную конкуренцию традиционным углеводородам в силу наличия огромных ресурсов, широкого распространения на планете, неглубокого залегания и весьма концентрированного состояния. Один объем газогидрата дает 160–180 объемов чистого газа.

*Современное состояние проблемы:* нигде в мире газогидраты еще не разрабатываются в промышленных масштабах, хотя ведутся активные поиски новых технологий; газогидраты могут самопроизвольно взрываться при смене термобарических условий, что осложняет их добычу и эксплуатацию.

*Цель исследования:* рассмотреть в единой цепочке перспективы, проблемы и экологические риски, связанные с газогидратами в следующей последовательности – условия образования газогидратов на Арктическом шельфе – возможные способы добычи – экологические риски.

*Ход исследования:*

- 1) На первом этапе нашего исследования мы изучили термобарические условия образования газогидратов на Арктических шельфах;
- 2) На втором этапе рассмотрели основные существующие методы добычи газогидратов, выявили достоинства и недостатки каждого метода.
- 3) На третьем этапе рассмотрели влияние газогидратов на окружающую среду с экологической точки зрения (рис. 1).

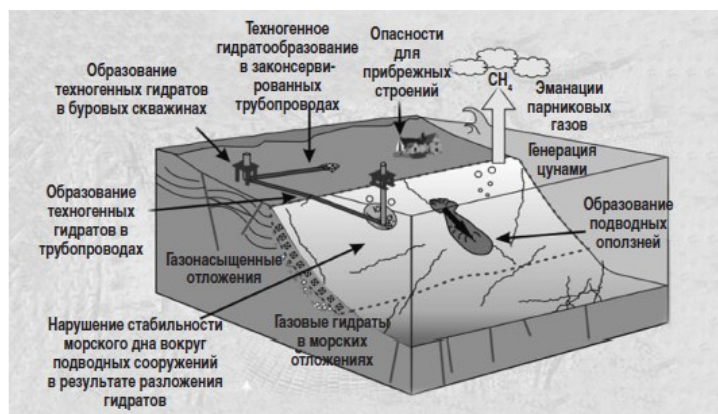


Рисунок 1 – Воздействие гидратов на окружающую среду и производственные процессы (по данным ВНИИокеангеологии им. И. С. Грамберга)

## **Выводы**

Основные фундаментальные задачи в рамках проблемы ГГ состоят сегодня в выяснении механизмов их влияния на климат Земли и др. процессы, идущие в геосфере. Поэтому требуется уточнение ресурсов, ареалов распространения, структуры и типов газогидратных залежей в земной коре.

На сегодняшний день, для Арктического сектора фактор экологического риска является доминирующим. Это связано: во-первых, с проблемой изменения климата, что может привести к изменению термобарических условий в поверхностных водах; во-вторых, с проблемой сейсмической активности в молодых разломах и возобновлением тектонической активности в зонах старых разломов, что может спровоцировать локальные взрывы ГГ; в-третьих, с изучением устойчивости морского дна, в связи с перспективой освоения и построения нефтегазовых сооружений по дну Баренцева моря.

Несмотря на перечисленные выше проблемы, ГГ следует рассматривать как экологически чистое топливо будущего, что признается большинством стран мира.

## **Библиографический список**

1. Дмитриевский А. Н., Баланюк И. Е. Газогидраты морей и океанов – источник углеводородов будущего. – М. : ООО "ИРЦ Газпром", 2009. – 416 с.
2. Силантьев Ю. Б., Скоробогатов В. А. Нетрадиционный газ. Ресурсы и перспективы освоения: Обз инф. – М. : ООО "Газпром экспо", Москва, 2012. – 116 с.
3. Бык С. Ш., Макогон Ю. Ф., Фомина В. И. Газовые гидраты. – М. : Химия, 1980. – 296 с.
4. Захаренко В. С. Потенциальный экологический риск, связанный с газогидратами на Западно-Арктической континентальной окраине // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. № 4. – С. 21–26.



## Особенности применения систем ориентации при глубоководном бурении судов и платформ оснащённых СДП

**Холодов Г. Г.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра радиотехники и радиотелекоммуникационных систем)

**Аннотация.** Анализируются системы ориентации буровых судов (БС) и полупогружных буровых установок (ППБУ), оснащенных системами динамического позиционирования (ДП). Решается задача их применения при глубоководном бурении.

**Abstract.** The orientation systems of drilling vessels and semisubmersible drilling rigs equipped with dynamic positioning systems are analyzed in the paper. The problem of their application in deep-sea drilling is being solved.

**Ключевые слова:** буровое судно, плавучая буровая установка, система динамического позиционирования, системы ориентации.

**Key words:** drilling vessels, semisubmersible drilling rigs, dynamic positioning system, reference systems.

### 1. Введение

Интенсификация промышленной добычи углеводородсодержащего сырья в прибрежных зонах морских государств, привела к существенному истощению запасов углеводородсодержащего сырья и снижению уровня этой добычи. Дальнейшие ее перспективы развития в настоящее время связывают с освоением шельфовых районов Арктики, а также и других районов мирового океана, где работы осложняются достаточно большими морскими глубинами. Приоритетными для выполнения таких задач являются суда и платформы, применяющие новейшие инновационные технологии, оснащенные системами динамического позиционирования (ДП) и удерживаемые в заданной точке при помощи подруливающих устройств, без использования якорей [2]. Безопасность и точность позиционирования таких судов и платформ, обеспечивается лишь в том случае, если есть необходимая и достаточная информационная избыточность. Такую избыточность способны обеспечить системы ориентации ДП. Технологии использования таких систем при больших морских глубинах и посвящена данная статья.

### Практическое использование СДП для обеспечения работ на морском шельфе

СДП – комплекс, предназначенный для автоматического и дистанционного автоматизированного управления подруливающими устройствами судна с целью динамического удерживания его над точкой позиционирова-

ния с заданной точностью. СДП обеспечивает удержание судна на заданном курсе и в заданной точке ведения работ, а также маневрирование судна во время технологических работ. СДП позволяет быстро, с высокой эффективностью и надежностью выполнять работы на шельфе, сокращая при этом расход топлива и уменьшая износ судна, повышая рентабельность при эксплуатации судна, улучшая условия работы экипажа [1].

Под избыточностью (резервированием) системы ДП понимается дублирование или многократное резервирование ее элементов, при котором комплекс, состоящий из энергетической установки и подруливающих устройств с их индивидуальными системами управления, работает под управлением компьютерной системы таким образом, что выход из строя отдельных систем управления, отдельных подруливающих устройств, или элементов электро-энергетической системы не влияет на выполнение задачи удержания ПБУ над точкой позиционирования [4].

Важно обеспечить непрерывность буровых работ в течение длительного времени, при соблюдении строгих правил техники безопасности. Отклонение центра ротора буровой лебедки, установленной на судне, от центра скважины на дне на 6 градусов соответствует максимально допустимому пределу упругости буровых труб (рис. 1).

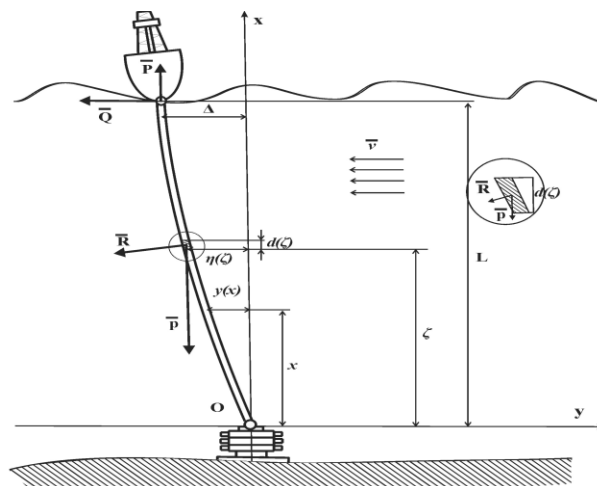


Рисунок 1 – Отклонение центра ротора буровой лебедки

Если это отклонение превышает 6 градусов, требуется прекратить бурение и вывести инструмент из скважины. В противном случае буровой инструмент разрушается, при этом может произойти загрязнение моря. В отечественной практике буровых работ существуют правила, согласно которым во время проведения буровых работ судно не должно смещаться относительно скважины более чем на 5 % от глубины моря [4]. В условиях шторма

буровой инструмент выводится из скважины. При этом, если буровая установка остается соединенной со стояком, то допустимо смещение судна в пределах 8 % от глубины моря. В условиях жесткого шторма и отстоя допустимая величина смещения судна над точкой позиционирования может составлять 15 % от глубины. В зарубежной практике принято, что при проведении буровых работ на глубинах до 60 м максимальное отклонение не должно превышать 3,6 м, на глубинах свыше 60 м и до 300 м максимальное отклонение должно находиться в пределах 6 % от глубины. При изменении глубины в зоне работ от 300 м до 1 000 м этот процент пропорционально уменьшается с 6 % до 3 % от глубины. Если буровые работы не производятся, но буровая установка соединена со стояком, то допустимы горизонтальные перемещения в пределах 8–10 % от глубины моря.

Разработка нефтяных и газовых месторождений на глубоководных районах морского шельфа вызвала необходимость создания буровых судов, которые могли бы производить разведочное бурение и добычу нефти на больших глубинах. В современной практике проведения работ на морском шельфе с помощью БС и ППБУ на глубинах до 230 м обычно используются системы удержания судов с помощью якорей. На глубинах от 230 м до 400 м используются и якорные системы и СДП. Якорное удержание возможно и на больших глубинах. Однако при этом существенно возрастает стоимость якорной системы и достигает 10–15 % от стоимости всей буровой установки. Поэтому на глубинах свыше 400 м для удержания БС и ППБУ обычно используют СДП. В настоящее время на ППБУ также устанавливаются подруливающие устройства с управляемым направлением упора.

В Арктических широтах рекомендуется применять системы ориентации ДП, выполненные в ледовом классе. Они должны использовать данные от трёх систем датчиков, классифицирующихся по минимальному составу навигационного оборудования следующим образом [2] (рис. 2):

1. Системы определения географического местоположения судна:
  - судовая радиолокационная система (РЛС) 3 и 10 см диапазона;
  - судовой радиотепловой локатор (РТЛ);
  - импульснофазовая радионавигационная система (ИФРНС) Лоран-С;
  - спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС, GPS;
  - система EUROFIX.
2. Системы точного определения позиции судна (должны отличаться по принципам действия):
  - гидроакустические;

- системы тугонянутого троса;
- гиперболические разностно-дальномерные радионавигационные системы;
- лазерные системы.

3. Системы определения параметров возмущающего фактора на корпус судна:

- курс;
- величину качки;
- скорости и направления ветра.

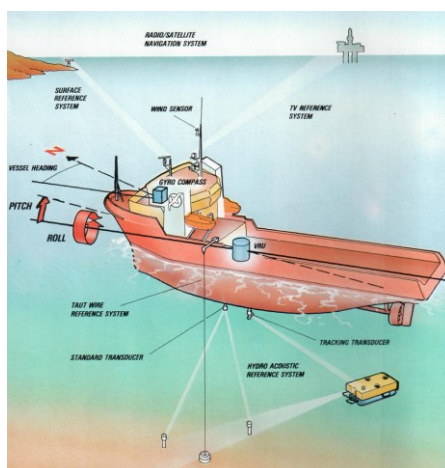


Рисунок 2 – Системы ориентации ДП (*Positioning...*, 1985)

Например, для бурового судна типа "Валентин Шашин" (рис. 3) будет использоваться согласно классификации следующий минимальный состав систем ориентации:

1. Гирокомпас – для определения курса судна.
2. Датчик ветра – для определения направления и силы ветра.
3. Датчик вертикальной ориентации – для измерения бортовой и килевой качки.
4. Датчик высоты волны – для определения величины амплитуды и направления волны.
5. Гидроакустическая система ориентации HPR309 – для определения позиции судна по расположению гидроакустических датчиков на дне моря (высокая точность 1-2 % от глубины воды).
6. Taut Wire – для определения позиции по натяжению троса с грузом на дне моря и отклонению от вертикали.
7. ARTEMIS – для определения позиции по расстоянию и угла поворота антенн береговой и находящейся на судне радиолокационных станций (точность 1 м на дистанции 600 м, 2 м на дальности 9 км).

8. SYLEDIS – радиодальномерная РНС (точность  $\pm 3$  м).
9. PULS-8 – амплитудная РНС.
10. GPS – спутниковая система навигации.

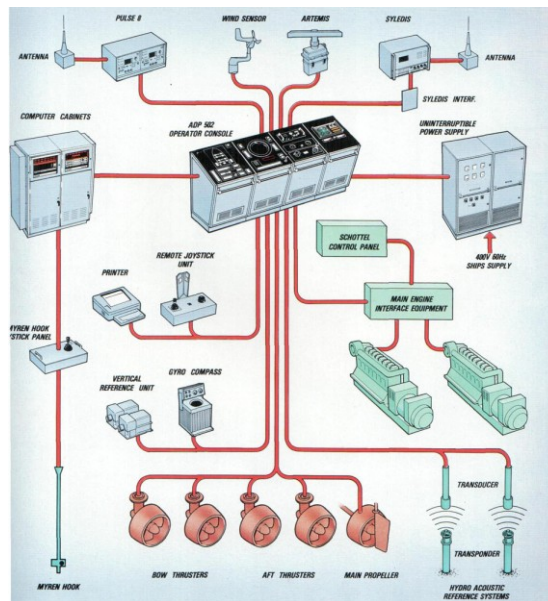


Рисунок 3 – АДП-503 бурового судна "Валентин Шашин" (*Positioning...*, 1985)

## 2. Применение систем ориентации при глубоководном бурении судов и платформ с СДП

Проведение глубоководных буровых работ по разведке и добычи нефти и газа со дна моря требует больших затрат. Эксплуатационная стоимость работ буровых судов (БС) и полупогружных буровых установок (ППБУ) весьма велика. Суточные эксплуатационные расходы составляют более 100 000 долларов (6 млн руб.) в день, а аренда буровой платформы – более 25 000 долларов (1,5 млн руб.) в день. Сбои в системах ориентации могут привести к нарушению технологического процесса на судне. Простой по вине СДП может привести к большим экономическим потерям. Поэтому для систем динамического позиционирования Класса 2 и 3 должны быть предусмотрены, по крайней мере, три независимые системы определения местоположения, работающие на различных принципах, которые должны одновременно и согласовано функционировать в действующей системе управления динамическим позиционированием[1].

Для глубоководного бурения необходимо применять следующие системы ориентации:

– Гидроакустическая система ориентации HPR309 – для определения позиции судна по расположению гидроакустических датчиков на дне моря (высокая точность 1-2 % от глубины воды);

– ARTEMIS – для определения позиции по расстоянию и угла поворота антенн береговой и находящейся на судне радиолокационных станций (точность 1 м на дистанции 600 м, 2 м на дальности 9 км);

– Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС, GPS.

### 3.1. Гидроакустические системы позиционирования

В качестве основной навигационной системы для выработки управляющих воздействий СДП использовалась система гидроакустических маяков с короткой базой. Эта система включала следующие элементы (рис. 4).

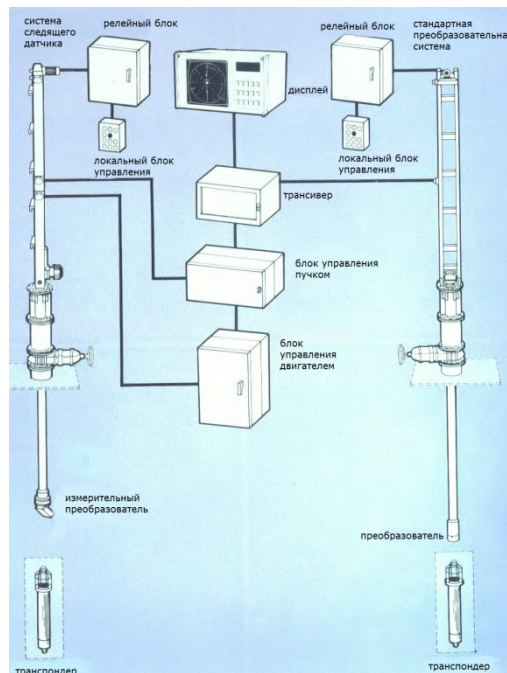


Рисунок 4. Состав оборудования системы HPR (*Positioning...*, 1985)

Отклонение центра ротора буровой лебедки, установленной на судне, от центра скважины на дне на 6 градусов соответствует максимально допустимому пределу упругости буровых труб можно наблюдать на мониторе блока управления HPR (рис. 5). Угол наклона определяется по показаниям гидроакустических маяков инклинометрического датчика.

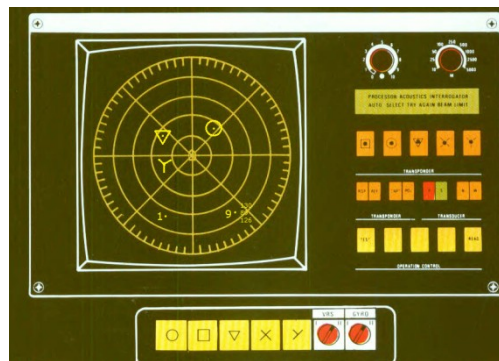


Рисунок 5 – Монитор системы HPR (*Positioning...*, 1985)



Информация от гидроакустических датчиков используется также при повторной стыковке к скважине. На конечном участке при повторной стыковке используется телекамера (рис. 6). Высокая точность показаний обеспечивается узким и широким лучами излучения трансдьюсера (высокая точность 1-2 % от глубины воды). Диаграмма направленности показывает, что транспондеры должны быть, как можно ближе расположены к оси излучателя трансдьюсера.

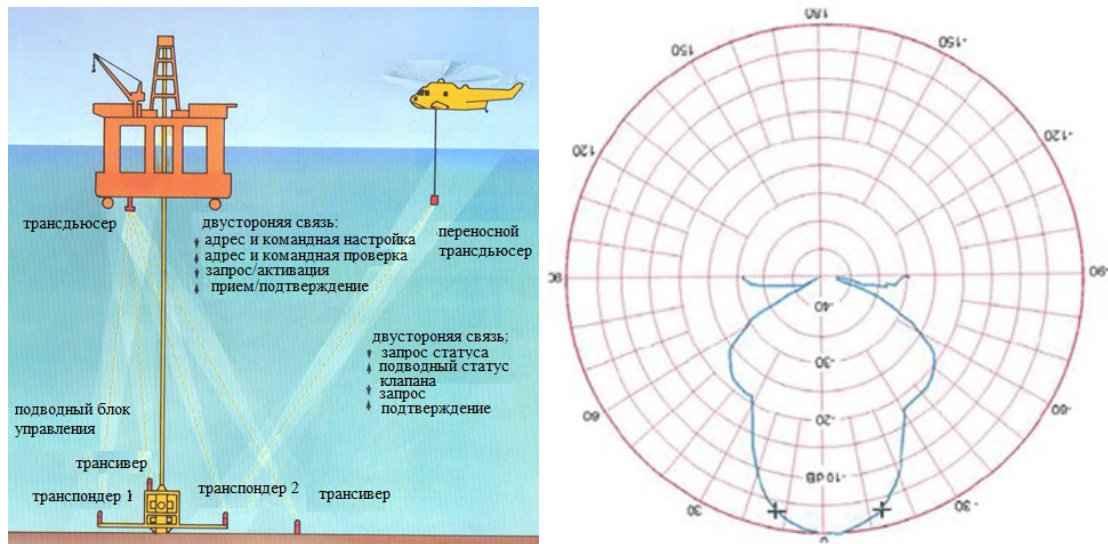


Рисунок 6 – Система гидроакустического контроля (*Positioning...*, 1985)

В случае сбоя в гидроакустической системе СДП может производить стабилизацию судна только по измерениям от гирокомпаса, гировертикали и кренометра стояка. Поэтому необходимость применения трех систем ориентации разных принципов действия одновременно очевидна [3].

### 3.2. Спутниковые системы позиционирования

Современные СДП имеют возможность для ввода данных и их обработки от широкой номенклатуры навигационных систем и оборудования. При этом основным источником навигационных измерений является приемоиндикатор (ПИ) сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) – GPS и/или ГЛОНАСС. Высокоточная динамическая стабилизация БС и ППБУ может производиться по информации от ПИ, если судно находится в зоне действия приема дифференциальных поправок ГНСС – DGPS. Точность 1,5–2 м. (рис. 7). Важной характеристикой для ГНСС является коэффициент доступности, который, наконец, 2000 г. составлял

0,967

у ГЛОНАСС и 0,981 у GPS. При этом время незапланированных отключений составило за 30 суток: 6 091 сек у ГЛОНАСС и 3 407 сек у GPS[4].

Ввиду недостаточной надежности получения точных измерений от ГНСС при буровых работах на шельфе современные СДП используют измерения также от других систем определения навигационных параметров движения.

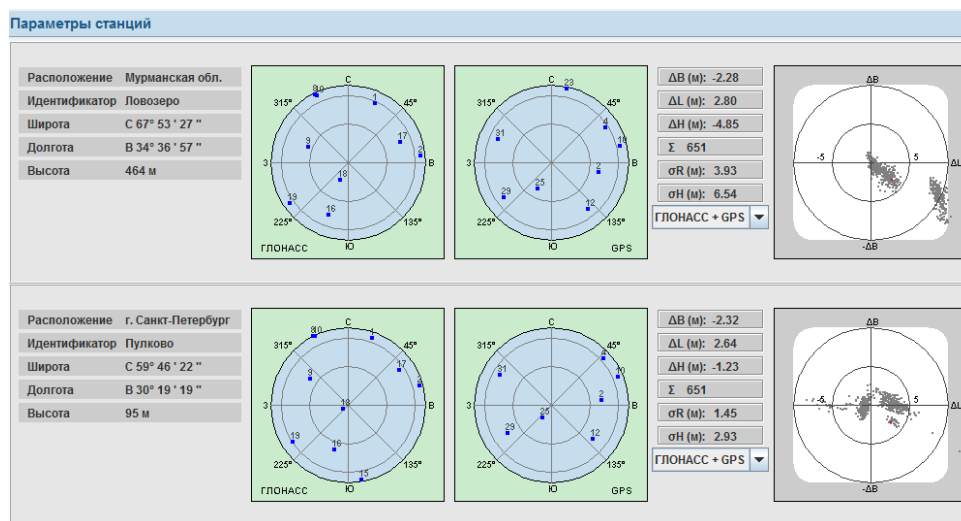


Рисунок 7 – Точностные характеристики систем ГЛОНАСС - DGPS

### 3.3. Дальномерные системы позиционирования

Дальномерная система позиционирования Artemis MK5 (рис. 8) была разработана с целью точного определения местоположения подвижного устройства, такого как судно или вертолет с привязкой на известную фиксированную точку.

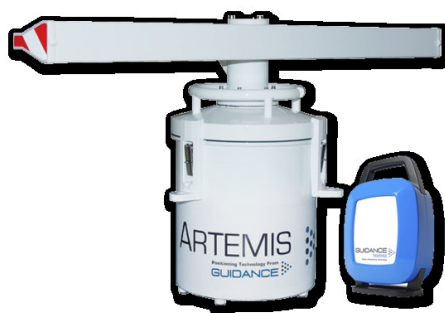


Рисунок 8 – Artemis MK5

Система состоит из двух станций, "MOBILE" на подвижном транспортном средстве и "FIX" в некоторой фиксированной точке отсчета, например стационарной буровой платформы, суда FPSO. Фиксирующее положение достигается за счет точного измерения дальности и угла поворота подшипника антенны вокруг своей оси (рис. 9).



Микроволновое соединение поддерживается, когда MOBILE станция перемещается по отношению к FIX. Во время трекинга антенны параллельны друг другу и перпендикулярны к линии, соединяющей центры антенн. FIX антенна всегда указывает на центр MOBILE антенны и положение оси FIX антенны и меру этого направления. Положение оси FIX антенны точно определяет азимут, показание можно регулировать электрически для получения значений азимута, которые переданы, например, от истинного севера или любого произвольно выбранного направления. Эта информация по азимуту, измеренная на FIX передается на MOBILE станцию. Расстояние между MOBILE станцией и FIX определяется путем измерения промежутка времени между сигналом на выходе из MOBILE к FIX и обратно. Для повышения точности, окончательное используемое расстояние получается путем усреднения десятков или тысяч временных интервалов. Теперь мы имеем дальность и азимут, которые можно будет использовать для построения точки движения подвижного объекта, например на ЭКНИС или подают в ДП систему. Общая точность фиксации зависит только от расстояния между MOBILE и FIX станциями (рис. 10).

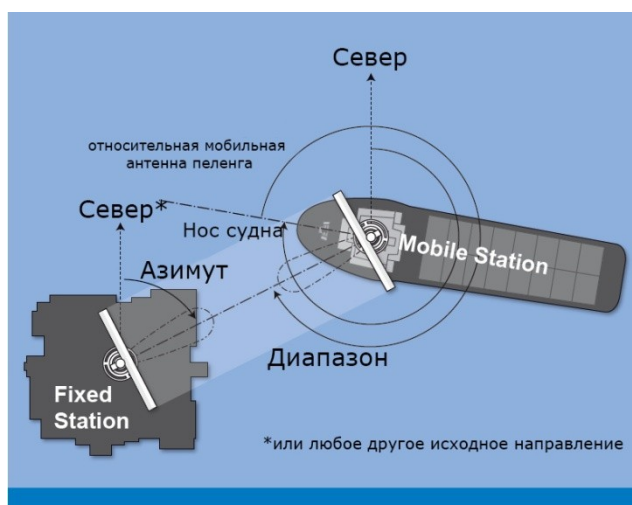


Рисунок 9 – Принцип работы дальномерной системы позиционирования Artemis MK5



Рисунок 10 – Дисплей дальномерной системы позиционирования Artemis MK5

Важнейшие тактико-технические данные дальномерной системы позиционирования Artemis MK5 сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Технические характеристики Artemis MK5

Частота	Диапазон частот: 9.2-9.3 GHz		
	Номер пары	MOBILE	FIX
Автоматический контроль частоты на <b>MOBILE</b> станции	0	9 200 МГц	9 230 МГц
	1	9 300 МГц	9 270 МГц
	2	9 230 МГц	9 200 МГц
	3	9 270 МГц	9 300 МГц
Экологичность	Рабочая температура: $-20^{\circ}$ к $+55^{\circ}$ C Температура хранения: $-40^{\circ}$ к $+70^{\circ}$ C Защита от погодных условий: IP 66 Безопасность: соответствует директиве 89/392/ЕЕС машинного оборудования Соответствовать директиве по низкому напряжению 73/23/ЕЕС Электромагнитная Совместимость: Соответствует к директиве 89/336/ЕЕС EMC Защита от коррозии в агрессивной среде (морская соль, нефтепродукты)		
Порт ввода-вывода данных	Локальная сеть Соединение: тонкий коаксиал (RG58U) Неэкранированная витая пара (UTP) Пользовательский интерфейс приложения (AUI) Протоколы МК5: см. спецификацию сетевого протокола Протоколы МК4 Формат данных: BCD(0.1), BCD(ADB), ASCII-16, ASCII-17, ASCII-22 Программная совместимость с МК4		
Характеристики отслеживания	Максимальная отслеживаемая скорость: 15 градусов /с Максимальная отслеживаемая скорость с углом: 2 градуса /с, ошибка в пределах спецификации		
Потребляемая	Напряжение питания: 230В переменного тока, 50/60 Гц		

**Международная научно-практическая конференция  
"Наука и образование в Арктическом регионе"**

мощность	Расход энергии: экономичный
Измерение расстояния	Диапазон: 10 - 5000 м Разрешающая точность дисплея: 0.1 м Время обновления данных: 0,25 с Разрешение: 0.1 м Точность: стандартное отклонение 1 м Диапазон: 5000 – 9000 м Точность: стандартное отклонение 2 м
Измерение азимута	Диапазон: 0-360 градусов Разрешение: 0,01 градуса (0,001 для ввода опорного угла) Время обновления данных: 0,25с Точность: 0,02 градуса стандартного отклонения

Artemis МК5 может быть успешно, применяться, как система ориентации СДП судов для удержания в фиксированной точке. А также для постановки ППБУ на якоря.

**Выводы:**

1. Эффективность оценок навигационных параметров удержания буровых судов на больших глубинах, используемых СДП в режиме соединения со стояком, может быть повышена посредством совместной обработки измерений от трёх навигационных систем, таких как ГЛОНАСС- DGPS, Artemis МК5, HPR.

2. Навигационные системы и оборудование, т.е. системы ориентации, измерения которых используются при расчете управляющих воздействий, создаваемых СДП, согласно правилам классификационных обществ должны дублироваться и резервироваться.

3. Система ориентации Artemis МК5 является приоритетной при глубоководном бурении и может дополнительно использоваться для постановки ППБУ на якоря.

**Библиографический список**

1. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок (ПБУ) и морских стационарных платформ (МСП). Российский Морской Регистр Судоходства. СПб., Рос. мор. регистр судоходства, 423 с., 2001.

2. Холодов Г. Г. Требования национальных морских классификационных обществ к работам на морском шельфе и системам ориентации судов, оснащенных системами динамического позиционирования и их классификация. Журнал Вестник МГТУ № 4 2010г.

3. Холодов Г. Г. Необходимость совместного использования навигационных систем специализированных судов в режиме динамического позиционирования. 5-я всероссийская научно-практическая конференция ФГОУВПО Калининградский пограничный институт Федеральной службы безопасности Российской Федерации с 03 апреля по 05 апреля 2012 г. г. Калининград.

4. Баранов А. Ю. Формирование требования к радионавигационному оборудованию судов, выполняющее динамическое позиционирование. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Государственная морская академия имени адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург, 2003.

5. Albatross position and control systems. Norway., Kongsberg Albatross A. S., 18 ps., 1985.

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО  
И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Опытно-экспериментальная оценка технологии обучения,  
направленной на формирование профессиональной компетентности  
студентов IT-специальностей в компьютерном классе колледжа**

**Афонин А. Н.** (г. Орел, ФГБОУ ВО "Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева", кафедра профессионального образования)

**Аннотация.** В статье описываются результаты опытно-экспериментальной работы по формированию профессиональной компетентности студентов IT-специальностей колледжа средствами информационного пространства компьютерного класса.

**Abstract.** The article describes the results of experimental work on the formation of professional competence of students of it-specialties of the College by means of information space of computer class.

**Ключевые слова:** Сравнительный эксперимент; компетентность; информационное пространство; компьютерный класс.

**Key words:** Comparative experiment; competence; information space; computer class.

Эффективность формирования профессиональной компетентности обучающихся исследуется в педагогике уже давно, но следует отметить, что результаты исследовательских работ в этой области пока не стандартизированы и имеют в своей основе различные и порой несовместимые подходы к оцениванию.

В настоящем исследовании за основу определения эффективности применения технологии обучения для формирования профессиональной компетентности студентов IT-специальностей, возьмем результативно-затратную концепцию оценки дидактической эффективности, апробированную в работе А. И. Козачка, под которой он определил: "положительное приращение достигнутого результата в настоящем к предыдущему результату, с учетом временных, технических и психофизиологических затрат, т. е., эффект деятельности преподавателя по достижению заранее прогнозируемых целей обучения..." [3].

Следует отметить, что профессиональная компетентность прямо пропорциональна эффективности обучения.

Эта дефиниция позволяет определить научные позиции к обоснованию и выбору надлежащих критериев оценки профессиональной компетентности студентов IT-специальностей и методических основ для ее оценивания при проведении опытно-экспериментальной работы.

На основе анализа работ В. П. Беспалько, А. Н. Зельницкого, О. В. Золотарева, А. А. Кыверялга, П. И. Образцова и других авторов, были опреде-

лены критерии, показатели и уровни сформированности профессиональной компетентности студентов IT-специальностей которые будут востребованы в ходе проводимого сравнительного педагогического эксперимента.

Целью эксперимента явилось создание и опытно-экспериментальная проверка организационно-педагогических условий применения технологии обучения, направленной на формирование профессиональной компетентности студентов IT-специальностей колледжа средствами информационного пространства компьютерного класса на уроках по общепрофессиональным дисциплинам.

Экспериментальной базой исследования явился Новозыбковский профессионально-педагогический колледж. Исследованием охвачено: преподавательский состав циклово-методической комиссии колледжа "Информатики, программирования и информационной безопасности" – 8 человек, внештатные эксперты (председатели квалификационных экзаменов по профессиональным модулям от работодателей из IT-сферы) – 7 человек, студенты IT-специальностей колледжа – 132 человек. Местом проведения экспериментальной деятельности была выбрана компьютерная аудитория № 21. Основной контингент участвующих в эксперименте лиц составляли студенты первых курсов в количестве 46 человек и вторых курсов в количестве 86 человек. Студенты первых курсов выступали в качестве участников констатирующего эксперимента. Анализ результативности работы первокурсников в информационном пространстве компьютерного класса позволил определить надежность и валидность профессиональных тестовых заданий. Студенты второго года обучения выступали участниками сравнительного педагогического эксперимента в составе экспериментальных и контрольных групп.

Для проведения эксперимента потребовалась система учета профессиональных действий IT-специалиста в информационном пространстве компьютерного класса, которая позволила бы оценивать и накапливать результаты когнитивной и деятельностной составляющих профессиональной компетентности студента IT-специальности. В ее роли выступила специализированная программа, разработанная в системе 1С. Предприятие 8.2. Наряду с этим был подобран и использован диагностический материал в форме психолого-педагогических тестов по методикам различным авторам с целью учета изменений в мотивационной и личностной составляющих профессиональной компетентности студентов IT-специальностей.

Предварительно был проведен констатирующий эксперимент в группах IT-специальностей с целью выявления исходных данных и расчета началь-

ного уровня сформированности профессиональной компетентности студентов IT-специальностей по выявленным критериям. Для этого студенты выполнили комплекс технологических заданий в компьютерном классе с последующим занесением результатов в базу знаний. Осуществлено психолого-педагогическое тестирование по методике Т. Д. Дубовицкой [2] для оценки мотивов учебной деятельности студентов и В. И. Андреева [1] для оценки личностной конкурентоспособности. Согласно компонентам, определяющим состав профессиональной компетентности студентов IT-специальности в информационном пространстве компьютерного класса были применены соответствующие критерии оценивания.

Для оценивания уровня сформированности профессиональной компетентности была востребована бально-рейтинговая система оценки. Использование баллов по каждому критерию позволяет определить уровень сформированности профессиональной компетентности каждого студента IT-специальности в компьютерном классе.

Для определения уровня каждого показателя нужно было сгруппировать диапазоны полученных в результатах тестирования значений. Согласно методике, предложенной А. А. Кыверялгом, "средний уровень определяется 25%-м отклонением значения от среднего по диапазону балльных оценок. Тогда распределение по двум "граничным" уровням (низкому и среднему) можно представить следующим образом: низкий уровень – от  $R(\min)$  до  $0,25 \cdot R(\max)$ ; высокий уровень – от  $0,75 \cdot R(\max)$  до  $R(\max)$ , где  $R(\min)$  – это нижний предел диапазона балльных оценок,  $R(\max)$  – это высший предел диапазона балльных оценок" [4].

На рис. 1 представлены обобщенные результаты констатирующего эксперимента в разрезе сформированности компонентов профессиональной компетентности студентов IT-специальности в компьютерном классе.

Фактический уровень профессиональной компетентности студентов IT-специальности в компьютерном классе может быть получен через объединение результатов по всем исследуемым критериям (низкий – 0; средний – 1; высокий – 2). Суммарный балл позволяет оценить обобщенный результат, который меняется в пределах от 0 до 8 баллов. Таким образом, согласно представленной методике, уровни развития профессиональной компетентности студента IT-специальности в компьютерном классе определялись следующими интервалами: низкий уровень оценивается в пределах от 0 до 2 баллов; средний – от 3 до 5; высокий – от 6 до 8.



В сравнительном эксперименте приняли участие студенты IT-специальностей четырех групп, после процедуры уравнивания их параметров по исследуемым критериям.

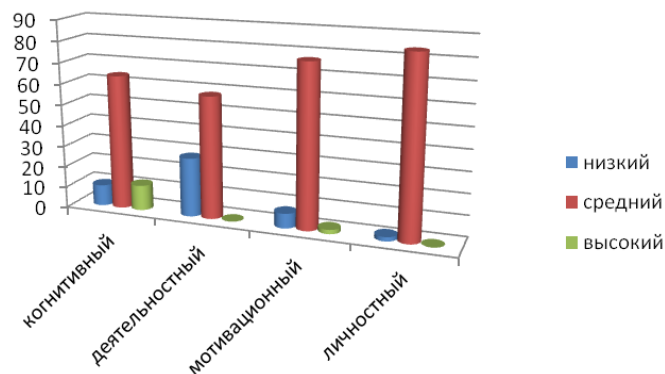


Рисунок 1 – Результаты констатирующего эксперимента в разрезе сформированности компонентов профессиональной компетентности студентов IT-специальности в компьютерном классе

Для контрольных групп были созданы те же условия, что и для экспериментальных, за исключением того, что испытуемые в ней не подвергались экспериментальному воздействию. В контрольных группах основными источниками информации выступали конспекты лекций и учебное пособие для СУЗов. В экспериментальных группах источники информации дополнялись средствами информационного пространства компьютерного класса: ЭУМК, ресурсы сети Интернет, дополнительная электронная литература, расположенная в сетевой инфраструктуре компьютерного класса. Образовательный процесс осуществлял один и тот же преподаватель. Процесс изучения общепрофессиональных дисциплин в компьютерном классе был построен в контрольных группах на основе традиционных методик обучения, в экспериментальных группах – согласно модели процесса формирования профессиональной компетентности студентов IT-специальностей средствами информационного пространства компьютерного класса и специально разработанной технологии обучения. Следует отметить, что технология обучения применялась на занятиях в экспериментальных группах в течение всего времени проведения эксперимента.

Сравнительный эксперимент проводился по методике, предложенной П. И. Образцовым [5], которая имеет разностороннюю применимость. Использование такой методики предоставляет возможность рассматривать все ступени обучения, отслеживать все этапы опытно-экспериментальной работы и, в случае надобности, производить коррекцию учебного процесса после определения результатов отсроченного контроля.

Контрольные и экспериментальные исследуемые группы прошли соответствующий анализ и статистическую оценку. Результаты представлены в табл. 1. Для проверки принадлежности контрольных и экспериментальных групп к одной генеральной совокупности по исследуемому критерию использовался U-критерий Манна-Уитни. Проверка статистической значимости полученных результатов осуществлялась по критерию Уилкоксона (T – критерий) для связанных совокупностей.

Таблица 1 – Сформированность профессиональной компетентности студентов IT-специальностей до и после проведения формирующего педагогического эксперимента

Группы	Количество студентов	Уровни сформированности ПК											
		Низкий				Средний				Высокий			
		До		После		До		После		До		После	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
КГ – 1	17	4	24 %	1	6 %	13	76 %	13	76 %	0	0 %	3	18 %
ЭГ – 1	22	3	14 %	0	0 %	19	86 %	11	50 %	0	0 %	11	50 %
КГ – 2	24	3	13 %	0	0 %	21	87 %	21	87 %	0	0 %	3	13 %
ЭГ – 2	23	4	17 %	0	0 %	19	83 %	13	57 %	0	0 %	10	43 %

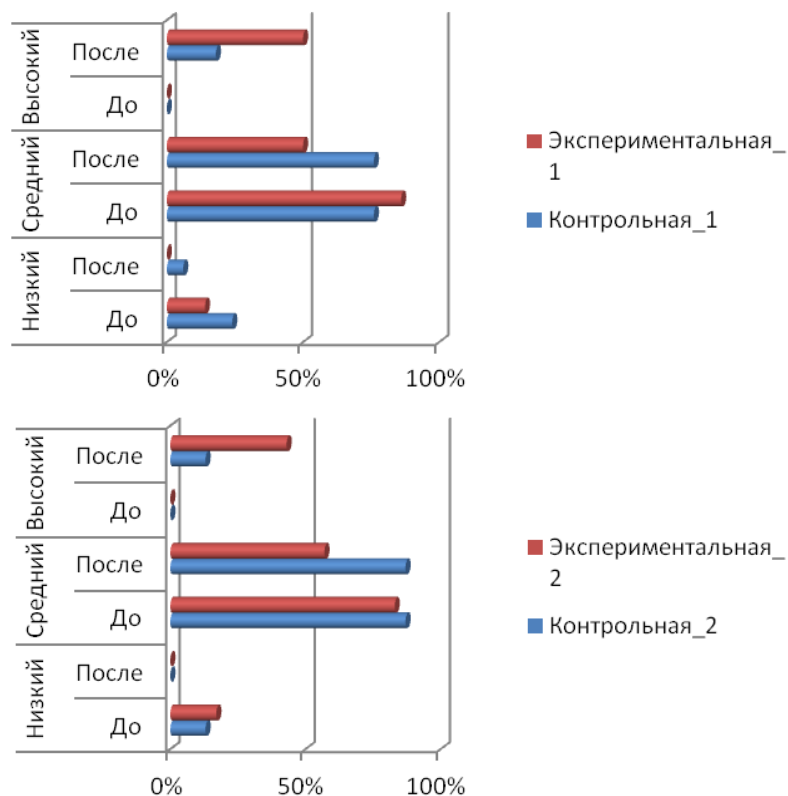


Рисунок 2 – Диаграмма сформированности профессиональной компетентности студентов IT-специальностей до и после проведения формирующего педагогического эксперимента

Реализация педагогического эксперимента послужила основой для обоснования и проверки организационно-педагогических условий, способствующих формированию профессиональной компетентности студентов ИТ-специальностей колледжа средствами информационного пространства компьютерного класса.

Анализ результатов сравнительного педагогического эксперимента подтвердил действенность использования разработанной технологии обучения и дал возможность обосновать эффективность формирования профессиональной компетентности студентов ИТ-специальностей колледжа средствами информационного пространства компьютерного класса.

### **Библиографический список**

1. Андреев В. И. Педагогика высшей школы. Инновационно-прогностический курс : учеб. пособие / В. И. Андреев. – Казань : Центр инновационных технологий, 2013. – 500 с.
2. Дубовицкая Т. Д. Методика диагностики направленности учебной мотивации // Психологическая наука и образование. – 2002, № 2. – с. 42–45.
3. Козачок А. И. Профессионально-ориентированная технология обучения как средство формирования компетентности у будущих военных специалистов в вузе: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 // Козачок Александр Иванович. – Орел., 2004. – 181 с.
4. Курзаева Л. В. Психолого-педагогический инструментарий оценки уровня развития конкурентоспособности будущих ИТ-специалистов // Территория науки. – 2015. № 6. – С. 85–90.
5. Образцов П. И. Основы профессиональной дидактики : учеб. пособие. – М. : Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2015. – 288 с.
6. Образцов П. И. Профессионально-ориентированная технология обучения: особенности проектирования и конструирования // Alma mater: Вестник высшей школы. 2003. – № 10. – С. 14–17.
7. Образцов П. И. Дидактические основы проектирования и конструирования профессионально-ориентированных технологий в вузе // Педагогическое образование и наука. 2005. – № 3. – С. 70–74.
8. Образцов П. И., Пимонов Р. В. Технологический подход как основа организации дистанционного обучения военных специалистов // Открытое образование. № 6. 2006. – С. 7–18.
9. A. I. Uman, P. I. Obratsov and M. A. Fedorova. Technological Approach to Teaching in the Professional and Pedagogical Education // Journal of Engineering and Applied Sciences 12 (12): 3188-3193, 2017. ISSN: 1816-949X.

## Компетенции, индикаторы их достижений и результаты обучения по физике в техническом вузе

**Власова С. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра общей и прикладной физики)

**Аннотация.** В работе рассматривается ситуация, сложившаяся в настоящее время в Российском высшем техническом образовании, связанная с введением Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования последних поколений. Согласно требованиям стандартов, разработчики Основных образовательных программ должны разработать материалы для проверки успешности выполнения выпускниками требований стандарта. В работе отмечено, что в настоящее время многие Российские вузы не готовы самостоятельно выполнить такую работу на качественном уровне. По мнению автора, на данном этапе развития Российского инженерного образования целесообразно было бы разрабатывать такие материалы на уровне Федеральных учебно-методических объединений (ФУМО). К сожалению, ФУМО на сегодняшний день, в большинстве случаев, не выполнили эту работу.

**Abstract.** The paper considers the current situation in the Russian higher technical education associated with the introduction of the Federal State Educational Standards for Higher Education of the last generations. According to the requirements of the standards, the developers of the Basic Educational Programs should develop materials to verify the success of the implementation of the requirements of the standard. It is noted that at present many Russian universities are not ready to independently carry out such work on a qualitative level. In the opinion of the author, at this stage of the development of Russian engineering education, it would be expedient to develop such materials at the level of the Federal Educational and Methodical Associations. Unfortunately, Federal Educational and Methodical Associations in most cases did not perform this work until now.

**Ключевые слова:** подготовка инженеров, Федеральные государственные образовательные стандарты последних поколений, компетенции, индикаторы компетенций, результаты обучения.

**Keywords:** training of engineers, Federal State Educational Standards for Higher Education of the last generations, competences, competency indicators, learning outcomes.

В документе "Макет примерной основной образовательной программы по уровням высшего образования: бакалавриат, магистратура и специалитет", опубликованном на портале Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования в конце 2016–2017 гг. [1], в разделе "Планируемые результаты освоения образовательной программы" названы не только компетенции (формирование которых у выпускника вуза и является целью обучения), но также и "индикаторы их (компетенций) дости-

жения". Далее сказано, что индикаторы достижения компетенций "являются обобщёнными характеристиками, уточняющими и раскрывающими формулировку компетенции", они могут быть представлены либо в виде "результатов обучения", либо "в виде конкретных действий, выполняемых выпускником, освоившим данную компетенцию" [1]. Также в документе отмечается, что *если* Федеральное учебно-методическое объединение (ФУМО) не формирует индикаторы достижения компетенций, то такие индикаторы учебное заведение, осуществляющее образовательную деятельность, разрабатывает самостоятельно.

Ценно, что появился нормативный документ, который даёт право учебному заведению формулировать результаты обучения самостоятельно. Но существуют некоторые проблемы для реальной реализации предоставленного права. В документах Минобрнауки РФ не уточнено, какая связь существует между компетенциями и результатами обучения<sup>1</sup>. Отметим, что в теории педагогических измерений (в рамках РФ) такая связь также не сформулирована. При разработке рабочих программ отдельных дисциплин педагоги высшей школы, как правило, ориентируются на исторически сложившуюся традицию преподавания той или иной дисциплины, исходя из ресурса учебного времени и необходимости формирования у студента целостного представления о ней. Используем определение, взятое из литературных источников: понятие "результаты обучения" ("learning outcomes") было введено обиход в 2005 г. рабочей группой по разработке европейской структуры квалификаций и получило четкое определение: результаты обучения – это "формулировки того, что, как ожидается, будет знать, понимать и/или будет в состоянии продемонстрировать (делать) обучающийся после завершения периода обучения" [2].

В работе [2] отмечается, что одним из самых актуальных вопросов академической общественности сегодня является вопрос: как оценивать компетенции? Конечно же, первый вопрос порождает следующий: какая связь существует между компетенциями и результатами обучения? Но возникает ещё и третий вопрос: тем вузам, которым в ближайшее время предстоит пройти государственную аккредитацию, к чему следует готовиться: к оценке компетенций или результатов обучения? Третий вопрос порождает четвёртый: какими будут аккредитационные педагогические измерительные материалы [2]? В работе мы попытаемся найти приемлемые, нашей точки зрения, ответы

---

<sup>1</sup> "Learning outcomes" в европейском варианте.

на поставленные выше вопросы, актуальные на современном этапе развития российского высшего образования.

Скляренко А. Н. полагает, что на данном этапе развития российского высшего профессионального образования специфика компетентностного обучения только начинает формироваться, поэтому пока не представляется возможным измерение и оценивание компетентности обучающегося. Она отмечает, что понятие "компетенция" больше, чем просто знания, которые можно проверить и больше чем, непосредственно наблюдаемые, умения или навыки. Формируемые компетенции включают в себя и взгляды, и отношение, и склонности обучающегося [3].

Одним из вызовов, стоящих перед российскими техническими вузами, является неудовлетворенность работодателей качеством подготовки выпускников инженерных образовательных программ. Представители промышленности отмечают хороший уровень базовых знаний и теоретической подготовки по отдельным учебным дисциплинам, но выделяют в качестве недостатка низкий уровень сформированности ключевых компетенций (профессиональных и общекультурных), а также практических навыков, необходимых для решения реальных инженерных задач [4]. Кроме вышесказанного, студенты, по-прежнему, продолжают играть пассивную роль, выступая объектом учебного процесса. Они проявляют минимальный уровень самостоятельности: ведут конспекты лекций, а затем демонстрируют степень овладения теоретическими знаниями по предмету во время сдачи экзаменов [4].

Анализ показывает, что в "западном" инженерном сообществе ведется активная дискуссия по поводу компетенций современных инженеров. В целом, подход к присвоению инженерной квалификации стандартизирован. На уровне отдельных стран и международных сообществ существуют организации, представляющие интересы инженеров, и задающие профессиональные и образовательные стандарты в этой сфере. В ряде стран существуют собственные стандарты, определяющие требования к инженерам. Центральным международным документом в области стандартизации требований к инженерам считается Вашингтонское соглашение (Washington Accord) 1989 г. Документ содержит профили профессиональных компетенций инженеров и подписан 18 странами, включая РФ. В 2006 г. в Европе создана Европейская сеть аккредитации инженерного образования (European Network for Accreditation of Engineering Education – ENAEE). В 2007 г. создан Международный инженерный альянс (International Engineering Alliance – IEA). Цель этих организаций заключается в объединении усилий стран-участниц

Вашингтонского соглашения в области стандартизации профессиональных требований к инженерам, а также в совершенствовании их профессиональной подготовки. В России создана Ассоциация инженерного образования России (АИОР), которая является членом ENAEE [5].

Европейская сеть аккредитации инженерного образования запустила проект "Европейский аккредитованный инженер" (EUR-ACE8). Проект посвящен созданию общеевропейской системы гарантии качества инженерного образования в соответствии с европейскими стандартами. Для этого разработаны общие критерии оценки образовательных программ для инженеров уровня "бакалавр" и "магистр" в странах Европы и странах-участницах Washington Accord [5]. Положительным аспектом в развитии российского инженерного образования следует рассматривать тот факт, что разработчики государственных стандартов стремятся гармонизировать их с документами, разработанными в рамках Washington Accord [5].

Из вышесказанного следует, что во многих странах активность именно представителей инженерного образовательного сообщества гарантирует качество инженерного образования, его развитие в соответствии с требованиями времени. В РФ роль "активатора" процессов изменения инженерного образования принадлежит государственным образовательным структурам.

В связи с этим, интересно проанализировать, каким образом сформулированная выше проблема (связь компетенций, как целей обучения, и результатов обучения по отдельным учебным дисциплинам) решается в настоящее время за пределами нормативных документов Министерства образования РФ. В качестве примера рассмотрим результаты исследования "Компетенции молодого российского R&D инженера"<sup>2</sup> [5].

Отмечается, что важно разграничивать понятия "компетентность" и "компетенция". "Компетентность" – это результаты, определяющие эффективность работы, т. е. те ее аспекты, в которых человек является компетентным. Термин "компетенция" обычно используется, чтобы описать какой-либо аспект способности человека к выполнению определенной работы. Это модель поведения, помогающая достигать желаемых результатов, т. е. те аспекты личности человека, которые позволяют ему быть компетентным. Термин компетенция имеет сложную структуру: "под компетенцией понимается совокупность знаний, навыков, личностных качеств и мотивов человека, проявляю-

---

<sup>2</sup> R&D инженер – инженер в сфере исследований (research) и разработок (development).

щаяся в виде его рабочего поведения". Строгой классификации компетенций не существует, обычно выделяют несколько распространенных категорий: технические, личностные, отраслевые, универсальные, ролевые компетенции [5].

Технические компетенции используются для описания желаемых характеристик должности или роли. Занятому в этой должности или роли сотруднику необходимо обладать такими компетенциями, чтобы решать конкретные профессиональные задачи. Личностные компетенции, в основном, не зависят от должности или роли. Они связаны с системой ценностей организации или общими требованиями, касающимися, например, порядка взаимодействия или личной эффективности. Отраслевые компетенции содержат индикаторы поведения, свойственные рабочему поведению сотрудников в рамках конкретной отрасли. Универсальные компетенции являются общими для нескольких отраслей или функций. Это межотраслевые или межфункциональные компетенции. Ролевые компетенции – это дополнительные характеристики, необходимые для описания значимых отличий в желаемом поведении сотрудника в рамках конкретной должности или роли от поведения в других должностях или ролях [5].

На рис. 1 в виде схемы показан профиль компетенций российского R&D инженера, представленный в работе [5]. Из рис. 1 видно, что важной частью компетенций являются "знания": эта позиция присутствует, как в универсальных, так и в отраслевых компетенциях. Если речь идёт об универсальных знаниях, то имеются в виду фундаментальные естественно-научные (и/или технические знания), а также знание языка. Универсальные технические компетенции подразумевают использования инженерных знаний и навыков на практике. Универсальные личностные компетенции подразумевают: личную эффективность, работу с информацией, новаторство и творчество, эффективную коммуникацию, умение работать в команде. Таким образом, личностные компетенции также составляют важную часть профиля компетенций.

Чтобы стало понятнее, что имеют в виду разработчики профиля, представленного на рис. 1, приведём примеры. Первый пример относится к описанию универсальной личностной компетенции "эффективная коммуникация". Если молодой инженер овладел данной компетенцией, это означает, что он: владеет грамотной устной и письменной речью, доходчиво излагает сложные идеи, подкрепляет собственное мнение убедительными аргументами, открыт к диалогу и групповой дискуссии, высказывает собственное мнение, слышит мнение других людей, общается в корректной доброжелательной манере, владеет навыками подготовки и проведения презентации, публичных



выступлений [5]. Вторым примером является описание одной из универсальных технических компетенций: "применение инженерных знаний и навыков на практике". Обучающийся, овладевший этой компетенцией в процессе обучения, обладает следующими качествами: использует актуальные, соответствующие задаче знания, методы и средства работы; учитывает в работе специфику отрасли; разбирается в используемом оборудовании, его устройстве, составных элементах и связях между ними; владеет перспективными технологиями [5]. Рассмотрим второй столбец таблицы "Отраслевые компетенции". Под термином "отраслевые знания" подразумеваются специальные знания в той или иной отрасли (например, знания в области информационных технологий). Под термином "отраслевые технические компетенции" имеются в виду применение инженерных знаний и навыков в избранной области (например, в области информационных технологий).

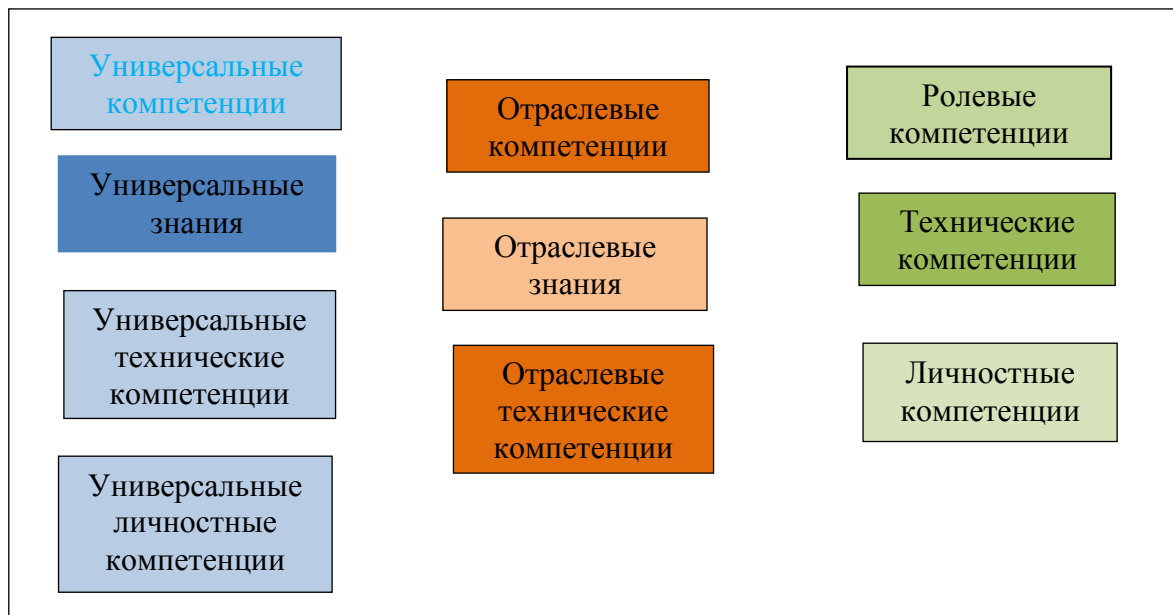


Рисунок 1 – Профиль компетенций российского молодого R&D инженера [5]

Из приведённых примеров следует вывод, что на *первом этапе* актуализации ФГОСВО должна быть выполнена большая работа по разработке основных образовательных программ, в которых чётко должны быть сформулированы все компетенции, а также индикаторы компетенций. Но этого, с нашей точки зрения, недостаточно. На этом этапе также должен быть сформирован ответ на вопрос, а какие именно результаты обучения должен продемонстрировать выпускник инженерного вуза<sup>3</sup>. И только после выполнения

<sup>3</sup> Формулировки типа "способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального

первого этапа можно приступать к разработке рабочих программ отдельных учебных дисциплин, которые позволят определить в дальнейшем актуальный объём содержания по конкретным учебным дисциплинам и конкретные результаты обучения, которые должен продемонстрировать обучающийся, освоивший ту или иную учебную дисциплину. В этом случае разработчики рабочих программ отдельных дисциплин смогут составить свои программы таким образом, чтобы они обеспечили выполнение компетенций в той части, которая касается их конкретной учебной дисциплины.

Приведём пример, иллюстрирующий непонимание администрацией ряда вузов порядка разработки новых Основных Образовательных программ и рабочих программ отдельных дисциплин. Администрация этих вузов большое значение уделяет не раскрытию содержания компетенций, а разработке "фондов оценочных средств" и строго требует от разработчиков рабочих программ учебных дисциплин наличие развёрнутого фонда оценочных средств. Тут, с нашей точки зрения, нарушена не только логика, но и здравый смысл. Фонды оценочных средств должны оценивать результаты обучения. Само содержание обучения, а также его результаты по отдельным дисциплинам следует формировать на основе "раскрытия" содержания компетенций, поскольку в ФГОС ВО они даны в предельно обобщённом виде. Если не понятно, как цели обучения (овладение конкретными компетенциями) связаны с результатами обучения по отдельным учебным дисциплинам, то что мы планируем проверять нашими Фондами оценочных средств? Или все участники образовательного процесса неявно соглашаются с тем, что в сложившейся ситуации следует формулировать результаты обучения по дисциплине традиционным способом, опираясь на традиционный опыт?

Следует отметить, что в Европейских вузах результаты обучения определяются вузом и оцениваются самим вузом, так как основная ответственность за качество образования возложена на само образовательное учреждение [2]. С нашей точки зрения, спустя некоторое время Российские вузы также придут к этому. Но на сегодняшний день переложить ответственность за качество образования на вузы означает только одно – резкое понизить качество инженерного образования<sup>4</sup>.

---

исследования при решении профессиональных задач", по нашему мнению, являются слишком неопределёнными.

<sup>4</sup> Этот вывод не относится к ведущим инженерным вузам России.

Всё, что предстоит сделать многим инженерным российским вузам для того, чтобы соответствовать общеевропейской (и мировой) системам гарантии качества инженерного образования, – это большая по объёму и высоко-профессиональная работа. Перекладывать её на плечи работников вуза, как это предполагается делать в настоящее время, с нашей точки зрения, неправильно. По нашему мнению, выполнить эту работу на высоком профессиональном уровне способны коллективы не очень большого числа Российских инженерных вузов. Нам представляется правильным указать в документе "Макет примерной основной образовательной программы по уровням высшего образования: бакалавриат, магистратура и специалитет", что ФУМО *обязаны* формировать индикаторы достижения компетенций и "результаты обучения" по отдельным дисциплинам. Если же вуз желает разработать свои индикаторы (и свои "результаты обучения"), то ему предоставляется такое право. В таком случае ведущие инженерные вузы смогли бы выполнять названную работу самостоятельно, в то время, как другие вузы могли бы, при желании, воспользоваться разработкой ФУМО.

### **Библиографический список**

1. Электронный ресурс: <http://fgosvo.ru/support/139/139/45>
2. Мотова Г. Компетенции и результаты обучения // Электронный ресурс: [http://www.akvobr.ru/ocenka\\_kachestva\\_rezultata\\_po\\_evropeiski.html](http://www.akvobr.ru/ocenka_kachestva_rezultata_po_evropeiski.html).
3. Скляренко А. Н. Результаты обучения (в терминах компетенций). Новый подход в обеспечении качества учебной программы // М. : Научно-информационный журнал Вестник Московского юридического института, №2 (38) 2011 г. с. 141–155.
4. Толкачева К. К., Похолков Ю. П., Кудрявцев Ю. М. Роль и выбор образовательных технологий при подготовке инженеров // Казанская наука №10, 2014, с. 13–17.
5. Компетенции молодого российского RD инженера // Электронный ресурс: <http://corporateventuresummit.ru/wp-content/uploads/2017/02/>

**Опыт подготовки кадров в области аквакультуры  
в петрозаводском государственном университете  
для республики карелия и арктической зоны**

**Волкова А. Ю., Болгов А. Е.** (*г. Петрозаводск, ФГБОУ ВПО "ПетрГУ",  
кафедра зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства*)

**Аннотация.** В статье представлен обзор состояния аквакультуры в Карелии, показана роль ПетрГУ в решении кадрового вопроса по обеспечению отрасли специалистами. Подготовка рыбоводов осуществляется с 1996 г., выпускники имеют высокий квалификационный уровень, обладают хорошими знаниями в области рыбоводства и востребованы на рынке труда. В связи с ростом производства продукции аквакультуры в Северных регионах предусмотрено расширить привлечение молодёжи для обучения профессии рыбовода высшей квалификации. Рассмотрены пути оптимизации учебного процесса, повышения уровня современных знаний в области аквакультуры.

**Abstract.** The article presents an overview of the aquaculture state in Karelia, shows the role of PetrSU in solving the personnel question on providing the industry with specialists. Preparation of fish farmers has been carried out since 1996. The graduates have a high qualification level, have good knowledge in the field of fish farming and they are in demand on the labor market. It is planned the expanding of young people involvement to train the profession of a highly skilled fish breeder, due to the growth of production of aquaculture products in the Northern regions. The ways of educational process optimization and increasing of modern knowledge level in the field of aquaculture are considered.

**Ключевые слова:** Аквакультура, рыбоводство, водные биоресурсы, рыбоводные хозяйства, практика.

В настоящее время идет активное развитие территорий крайнего севера. Освоение шельфа, разработка месторождений минеральных ресурсов Арктики, изучение и добыча водных биоресурсов этого региона считаются одной из приоритетных задач экономического развития Российской Федерации. Развитие аквакультуры в Арктической зоне России также очень актуально. Рыболовство и аквакультура являются важнейшими источниками рыбы и рыбных продуктов, производства ценных продуктов животного происхождения, развития местной продовольственной базы на Севере и в арктической зоне. Кроме того, важна их роль для снабжения населения других регионов России ценными видами рыб, в частности, форелью. Однако рыбоводство, в том числе форелеводство, на Севере и в Арктике развито недостаточно. Одним из факторов его успешного развития является обеспечение кадрами высшей квалификации.

На современном этапе европейская часть арктической зоны является территорией ускоренного роста производства продукции аквакультуры. Северные водоемы характеризуются сложными климатическими условиями, но, несмотря на это, качество водной среды здесь значительно выше, чем в других регионах. Поэтому в северных регионах активно развиваются все направления холодноводного рыбоводства, в том числе садковое форелеводство, лососеводство, индустриальное и пастбищное рыбоводство. Также здесь имеются большие возможности для развития марикультуры.

Республика Карелия производит 70 % всей выращиваемой в России форели [1], и эти показатели постоянно растут. В 2017 г. рыбоводными хозяйствами республики выращено 24,8 тыс. т разновозрастной рыбы, что на 3,58 тыс. т больше предыдущего года.

Наряду с товарным производством рыбы большой вклад в развитие аквакультуры вносят предприятия-питомники, обеспечивающие Карелию и соседние регионы посадочным материалом радужной форели, и рыбоводные заводы, специализирующиеся на искусственном воспроизводстве атлантического лосося. В перспективе – создание в Карелии селекционно-племенного центра по рыбоводству, увеличение производства кормов для рыб и предприятий по переработке рыбы. Ожидается, что к 2020 г. производство продукции аквакультуры в Республике возрастет до 35 тыс. т за счет создающегося рыбопромышленного кластера [2].

Большую роль в развитии аквакультуры в Карелии играет Петрозаводский государственный университет, так как решает вопрос кадрового обеспечения отрасли квалифицированными специалистами. Сегодня практически в каждом хозяйстве Карелии работают выпускники кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства ПетрГУ. Бывшие студенты кафедры занимают руководящие должности или являются сотрудниками в самых крупных рыбоводных хозяйствах Карелии: ООО "Кала я марьяпоят", ООО "Норд-Ост-Рыбпром", ООО "Русское море – Аквакультура", ЗАО "Вирта", ООО "Карелпродуктс", ЗАО "Кала-ранта", Выгский рыбоводный завод, ООО "Помор", ООО "Фишфорель" и других. Также востребованы выпускники ПетрГУ и в соседних регионах – в Ленинградской, Вологодской, Архангельской и Мурманской областях.

Подготовка специалистов в области аквакультуры была начата в 1996 г. на кафедре зоотехнии ПетрГУ в рамках специальности "Зоотехния" со специализацией рыбоводство. Для подготовки квалифицированных специалистов-рыбоводов был разработан учебный план, предусматривающий 800

часовую программу. Большое внимание также было уделено практической стороне обучения, и особенно содержанию производственных практик [3]. В Карелии уже в те годы функционировало много рыбоводных предприятий, которые охотно принимали на практику студентов, а впоследствии, и на работу. Также многие студенты проходили практики в хозяйствах других регионов и получали уникальный опыт работы предприятий различного типа.

Благодаря сильной теоретической базе и большому количеству практик было подготовлено 15 выпусков (около 150 человек) специалистов-рыбоводов с высоким квалификационным уровнем.

С 2011 г. Петрозаводский государственный университет перешел на подготовку бакалавров по направлению "Водные биоресурсы и аквакультура". Для подготовки студентов были разработаны образовательные программы академического и прикладного бакалавриата. Несколько лет набор студентов происходил сразу по двум направлениям подготовки. С 2016 г. обучение студентов осуществляется только по направлению прикладного бакалавриата.

Программа прикладного бакалавриата направлена на усиленную практическую подготовку студентов. С этой целью увеличен объём практических занятий в 1,5 раза, организуются учебные практики на высокотехнологичных рыбоводных комплексах Карелии, России, Скандинавии.

В процессе 4-летнего обучения студенты осваивают основные закономерности функционирования водных экосистем, хозяйственную и правовую деятельность на водоёмах, бонитировку водоёмов, особенности промысла и экологию основных объектов рыбоводства и рыболовства, основы искусственного воспроизводства различных видов рыб, основы проектирования рыбных заводов и хозяйств по выращиванию товарной рыбы, технологию выращивания товарной рыбы различными способами. Особое внимание в программе обучения уделяется тем направлениям производства, которые наиболее популярны в Карелии, а именно выращиванию форели в садках, индустриальному рыбоводству и селекционно-племенной работе.

В соответствии с современным состоянием рыбоводства в Карелии, а также учитывая дальнейшие перспективы развития отрасли в регионе, возникла потребность в разработке новой, более углублённой образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки "Водные биоресурсы и аквакультура". Также этому способствовал переход системы образования на новые стандарты (ФГОС+++). На кафедре был разработан проект "Моделирование практикоориентированной образовательной программы бака-

лавриата по направлению подготовки 35.03.08 "Водные биоресурсы и аквакультура". В настоящее время эта программа активно внедряется в систему обучения. В рамках проекта были разработаны учебные планы, заключены договора о сотрудничестве с крупнейшими предприятиями аквакультуры, усилено межвузовское взаимодействие, подготовлена учебно-методическая база для перехода к практикоориентированному обучению.

Практикоориентированная образовательная программа предусматривает плотное взаимодействие университета с представителями рыбоводных хозяйств. Так, в рамках этого взаимодействия были перенесены сроки практик на более подходящее время, увеличена их продолжительность и количество, разработаны рабочие программы учебных и производственных практик, матрица компетенций, кейсы. Это позволит студентам во время прохождения практики получать больше информации и опыта работы в рыбной отрасли, а также имеет огромное значение для подготовки более квалифицированных кадров.

Для повышения качества обучения бакалавров в области аквакультуры кафедра активно сотрудничает с другими ВУЗами, например, с Калининградским государственным техническим университетом, Белорусской сельскохозяйственной академией. Сотрудничество выражается в обмене студентами (практики), совместных научных исследованиях, предполагаются совместные проекты. Студенты кафедры активно участвуют в обменных программах с Северным университетом Норвегии (Nord University). Так, в рамках реализации обменных программ 3 студента обучались в этом норвежском университете по направлению бакалавриата и 1 студентка прошла обучение в магистратуре, по окончании которой успешно подготовила и защитила выпускную работу и получила диплом.

Также партнёрами ПетрГУ в области подготовки кадров аквакультуры являются такие учреждения, как ФГБУ Институт Озероведения РАН, Ассоциация форелеводов Карелии, Карельский филиал ФГБУ "Главрыбвод", Выгский рыбоводный завод и производственная база кафедры – одно из крупнейших рыбоводных хозяйств Карелии – ООО "Кала я Марьяпоят". Это сотрудничество играет очень большую роль как для организации учебных и производственных практик, так и для ведения совместной научно-исследовательской работы. С 2011 г. ПетрГУ входит в состав Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 35.00.00 Сельское, лесное и рыбное хозяйство. Благодаря этому сотрудники кафедры ежегодно

участвуют в выездных съездах и конференциях УМО, проводимых с целью улучшения учебно-методической работы при подготовке бакалавров и магистров в области аквакультуры.

По окончании обучения выпускники кафедры имеют возможность продолжить обучение в магистратуре и получить квалификацию магистра по направлению подготовки "Водные биоресурсы и аквакультура" и продолжить научную работу в аспирантуре. Всего за время подготовки рыбоводов было подготовлено и защищено 4 диссертации по рыбоводству.

Помимо очного обучения на кафедре предусмотрена подготовка студентов заочного отделения и ежегодно организуются курсы повышения квалификации для представителей и работников рыбоводных хозяйств по теме "Организация современного садкового рыбоводства" и "Индустриальное рыбоводство в условиях инновационного развития".

Выпускники направления "Аквакультура и водные биоресурсы" высоко востребованы на предприятиях рыбохозяйственной отрасли: рыбоводных заводах, садковых форелевых комплексах, предприятиях по переработке и производству рыбной продукции, в научно-исследовательских учреждениях и различных предприятиях биологического профиля.

За многолетний период подготовки рыбоводов (по направлениям специалитета и бакалавриата) в ПетрГУ подготовлено много специалистов, однако можно с уверенностью сказать, что рынок труда в этой отрасли в Северном регионе пока не заполнен. Так, все студенты-практиканты на время практики ежегодно устраиваются на работу в предприятия рыбной отрасли, но при этом на порталах трудоустройства имеются свободные вакансии. А в связи с предполагаемым ростом производства продукции аквакультуры в Карелии и Арктической зоне РФ эта потребность будет увеличиваться.

### **Библиографический список**

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2016 г. Мин-во по природопользованию и экологии Республики Карелия; Редакционная коллегия: А. Н. Громцев (главный редактор), О. Л. Кузнецов, Г. Т. Шкиперова – Петрозаводск, 2017. – 260 с.
2. Отчет Министерства сельского, рыбного и охотничьего хозяйства Республики Карелия о результатах работы в 2016 г., г. Петрозаводск, 2017 г.
3. Болгов А. Е., Рыжков Л. П., Онищенко Н. А. Подготовка специалистов по рыбоводству в Петрозаводском государственном университете // Рыбное хозяйство. 2005. № 3. С. 79–80.



## О влиянии ЕГЭ на качество обучения студентов технических вузов

**Герасименко П. В.** (г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО "Петербургский государственный университет путей сообщения", кафедра математики и моделирования)

**Аннотация.** Проведен анализ влияния элементарной математики на результаты изучения высшей математики. Намечен путь совершенствования математической подготовки студентов инженерных вузов.

**Abstract.** the analysis of the influence of elementary mathematics on the results of the study of higher mathematics. The way of improvement of mathematical training of students of engineering universities is outlined.

**Ключевые слова:** математика, ЕГЭ, вуз, студенты, инженер, задачи, бакалавр, специалист.

**Key words:** mathematics, high school, College, students, engineer, goals, bachelor, specialist.

Качественное обучение математике в вузе сегодня не обеспечивается существующей методической системой организации уровневой дифференциации обучения, поскольку начальный уровень довузовской подготовки не соответствует программе вузовской математической подготовки. Еще до введения ЕГЭ уровень школьной математической подготовки абитуриентов, поступающих в вуз, существенно понизился [1]. Результаты ЕГЭ и опрос абитуриентов, поступавших в различные вузы, свидетельствовал, что на рассмотрение в школах отдельных наиболее сложных и важных вопросов элементарной математики было выделено недостаточно времени, либо их совсем не изучали.

Повсеместное внедрение в инженерных вузах подготовку бакалавров и набор студентов посредством ЕГЭ, породило огромную проблему фундаментальной подготовки выпускников, которые должны, прежде всего, эксплуатировать сложные технические устройства, такие как например приведенные в [2].

Именно математическая подготовка в первую очередь способствует формированию профессиональных качеств выпускника инженерного вуза, к числу которых следует отнести, прежде всего, твердые знания и способность быстро осваивать изменяемые его функциональные обязанности. Для этого базовые дисциплины выпускника вуза должны опираться на фундамент первых курсов, который формируется, прежде всего, математикой. Однако математическая подготовка студентов вузов на первых курсах приобрела за послед-

ние годы особую сложность. Поэтому большое число студентов на старших курсах университетов стран СНГ демонстрируют "математическую серость".

Следует заметить, что при подготовке специалистов и бакалавров инженерных вузов в настоящее время существует немалая проблема, связанная с внутренними противоречиями вузовского образовательного процесса, которая обусловлена возрастающим с огромной скоростью объемом информации, предлагаемой студенту для усвоения, и ограниченными у него возможностями осуществить это в сокращенные сроки изучения математики [3].

Действительно, математической подготовке будущих специалистов и бакалавров, которые должны в перспективе владеть современными информационными технологиями и способных осуществлять системный анализ и прогноз в определенной практической области, в настоящее время даже при желании, нет возможности уделять достаточно внимания [4].

Исследования, которые проводились во многих университетах по оцениванию влияния ЕГЭ на результаты изучения студентами математических дисциплин, показывают, что после введения ЕГЭ, уровень математической подготовки студентов продолжает снижаться, а, следовательно, понизился уровень знаний фундаментальных дисциплин [5], [6]. Существующие методы и методики обучения в вузе будущих специалистов, бакалавров и магистров не могут не учитывать то обстоятельство, что подавляющее большинство студентов в потоках и группах, имеют число баллов ЕГЭ по математике от 20 до 60.

Анализ выполненных заданий ЕГЭ показал огромное число слабых сторон системы обучения сегодня математики в школе. К ним относятся некоторые наиболее характерные недостатки:

- слабые знания стереометрии и отсутствие пространственного воображения не позволяют ученикам проводить доказательства утверждений, следующих в условии задания;
- неумение решать неравенства и системы неравенств;
- в школе не уделяют должного внимания на глубину понимания условий заданий и недопустимость упрощения заданий, а потому решаются задачи с другими условиями;
- большая сложность возникает при выполнении заданий, которые требуют не математических знаний, а специальных;
- незнание свойств логарифмов и неумение решать иррациональные уравнения с параметром;
- недостаточно уделяется в школе развитию логического мышления.

В качестве примера в табл. 1 приведены результаты выполнения заданий, так называемой повышенной сложности, 2479 абитуриентами Псковской области в 2017 г. [7].

Таблица 1 – Результаты ЕГЭ в 2017 г.

<b>№ задания</b>	<b>Содержание задания</b>	<b>Проверяемые элементы умения</b>	<b>Процент выполнивших задания</b>
13	Решение простейших показательных уравнений. Решение простейших тригонометрических уравнений	Уметь решать уравнения и неравенств	32,08
14	Треугольная пирамида. Построение сечений. Основные аксиомы стереометрии	Уметь выполнять действия с геометрическими фигурами, координатами и векторами	0,06
15	Метод замены переменных при решении неравенств. Решение простейших логарифмических неравенств	Уметь решать уравнения и неравенства	6,86
16.	Трапеция. Пропорциональные отрезки. Признаки подобия треугольников	Уметь выполнять действия с геометрическими фигурами, координатами и векторами	0,13
17	Составление математической модели движения средств на банковском счёте. Решение алгебраического неравенства	Уметь использовать приобретённые знания и умения в практической деятельности	4,98
18	Решение иррационального уравнения с параметром сведением этого уравнения к алгебраическому	Уметь решать уравнения и неравенства	0,13
19	Составление логической модели исследуемой задачи. Обоснование полученных решений	Уметь строить и исследовать простейшие математические модели	0.00

Из анализа результатов ЕГЭ следует, что проведенные в странах СНГ реформы потребовали введения в качестве вступительных испытаний по математике выполнения простейших заданий, вместо решения сложных задач на письменном экзамене и проверки основных теоретических положений на устных вступительных экзаменах, поскольку предлагаемые более сложные задания практически не выполняются большинством школьников [7].

Как вывод можно заключить, что поскольку подавляющее большинство учащихся при решении задач не знает способ решения и не понимает какой необходимо выбрать теоретический материал, на который опирается решение, то следует считать, что их этому не учили, или плохо учили.

Как известно, что основным источником побуждения студентов к изучению любого предмета, в том числе математики, служит интерес. Привлечь внимание и заинтересовать студентов можно удивительными явлениями, возникающими в живой и неживой природе. Но это лишь начало возникновения интереса и добиться его сравнительно легко. Удержать интерес и сделать его достаточно стойким значительно сложнее. Добиться его можно с помощью решения не сложных физических задач. Более сложно осуществить переход от физических явлений к инженерным моделям, показав как с их помощью можно осуществить решение задачи будущей практической деятельности выпускника вуза.

Если поддерживать интерес различными заданиями, различными способами и приемами решения этих заданий, можно постепенно воспитывать интерес к самой деятельности, интерес к математике как к науке, который обычно перерастает в интерес к процессу самой мыслительной деятельности.

Материал, преподносимый преподавателем должен быть понятен каждому студенту, иначе он не вызовет желания работать, так как будет лишен для него смысла. Для поддержания интереса во всяком новом он должен базироваться на старом материале, который должен быть хорошо известный студентам. Только при условии установления связи нового со старым возможны проявления сообразительности и догадки.

Сегодня путь исправления всех недостатков, возникающих при изучении математики достаточно сложный, а потому и не дает должного эффекта для многих студентов. Поэтому возникает необходимость введения в вузе для студентов первого курса индивидуально ориентированной подготовки по элементарной математике. Только тогда можно будет частично совершенствовать математическую подготовку в вузе.

На основании даже поверхностного анализа математической подготовки в школе и вузе видно, что сегодня существуют тенденции, направленные на дальнейшее снижение формирования у школьников и студентов абстрактного мышления и пространственного воображения. Как известно, данные качества являются обязательными для специалиста-творца.

### **Библиографический список**

1. Герасименко П. В. О целесообразности разрешения в вузе сформировавшегося на современном этапе противоречия методик преподавания элементарной и высшей математик / П. В. Герасименко // Совершенствование

математического образования в общеобразовательных школах, начальных средних и высших профессиональных учебных заведениях: Материалы VI Международной научно-методической конференции 29–30 сентября 2010 г. – Тирасполь: ПФ "Литера", 2010. – с. 26–31.

2. Основы теории, конструкции и эксплуатации космических ЯЭУ. Куландин А. А., Тимашев С. В., Атамасов В. Д., Борзилов Б. М., Герасименко П. В., Сырцов Л. А., Сырцов Л. А. Ленинград.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

3. Герасименко П. В. Основные причины снижения качества инженерного образования / П. В. Герасименко // Сб. докл. участников XVII Академ. чтений Международной академии наук высшей школы "Инженерное образование в России и государствах – участников СНГ: проблемы и перспективы решения". Звенигород Московской обл. 21–23 сентября 2011 г.– Звенигород, 2011. – С. 27–32.

4. Герасименко П. В. О негативном влиянии результатов ЕГЭ по математике на подготовку специалистов в вузе и пути их устранения / П. В. Герасименко // Проблемы математической и естественно-научной подготовки в инженерном образовании // Тезисы докладов 2-й Международной научно-методической конференции – СПб.: ПГУПС, 2012. – С. 172–173.

5. Герасименко П. В. Исследование динамики изменения успеваемости по математическим дисциплинам студентов экономических специальностей ПГУПС / П. В. Герасименко, Р. С. Кударов // Вып. ПГУПС, № 1 (34) Известия Петерб. ун-та путей сообщения. – СПб.: 2013. С. 215–221.

6. Герасименко П. В. Об одном подходе к оценке качества успеваемости учебных групп студентов / П. В. Герасименко // Ученые записки Международного банковского института. – СПб.: МБИ, 2013. № 6. С. 179–186.

7. Герасименко П. В. Тенденции и перспектива математического образования в технических вузах / Герасименко П. В., Ходаковский В. А., Кударов Р. С., Бубнов В. П., Хватцев А. А. // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2017. – 14, вып. 4. с. 727–737.

## Принцип историзма в преподавании атомной физики в вузе

**Михайлюк А. В.<sup>1</sup>, Никонов О. А.<sup>1</sup>, Шолохов В. С.<sup>2</sup>** (г. Мурманск, <sup>1</sup>ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра общей и прикладной физики, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО "Мурманский арктический государственный университет", кафедра математики, физики и информационных технологий)

**Аннотация.** Рассмотрены элементы историзма в курсе атомной физики. Проанализированы понятия, которые привели к созданию современной теории строения атома и квантовой теории. Дана оценка модели атома Д. Томсона, ее значение при создании планетарной модели атома. Показано, что смена парадигм в физике происходит согласно принципам соответствия.

**Abstract.** The elements of historicism in the course of atomic physics are considered. The concepts that led to the creation of the modern theory of atomic structure and quantum theory are analyzed. The estimation of D. Thomson's model of atom, its value at creation of planetary model of atom is given. It is shown that the paradigm shift in physics takes place according to the principles of compliance.

**Ключевые слова.** Атомная теория, модель атома Д. Томсона, спектры атомов, линейный осциллятор, электрон, принцип соответствия.

**Keywords.** The atomic theory, model of the atom D. Thomson, spectra of atoms, linear oscillator, electron, principle of conformity.

Одной из задач методологического характера в истории физики является представление основных понятий и законов не догматически, а в их развитии. Физика по существу глубоко мировоззренческая наука. Поэтому при изучении физики важен и процесс формирования основных физических воззрений, и роль ученого в смене старых и создании новых идей.

В данной работе рассмотрены элементы историзма в курсе атомной физики. По нашему мнению, чтобы усвоить современные теории строения атома и квантовую теорию, необходимо проанализировать понятия, которые привели к ним.

Возникновение атомной физики стало важнейшим событием в истории мировой физики XX столетия. Автором атомистической теории строения вещества является древнегреческий философ Демокрит. Возрождение данной теории начинается в XVIII в. в работах А. Лавуазье, М. В. Ломоносова и Д. Дальтона. В это время атом считается неделимым и вопрос о его строе-

нии не ставится. Важную роль в развитие атомистической теории внесли работы Д. И. Менделеева, в частности его Периодическая система элементов.

К концу XIX в. в науке накопилась масса великих открытий, требующих осмысления, и делающих возможной постановку вопроса о строении атома.

Открытое Ньютоном в 1666 г. явление дисперсии света послужило дальнейшему изучению спектров и объяснению их происхождения. В 1859 г. немецкие физик Кирхгоф и химик Бунзен совместными работами по химическому анализу спектральных линий установили, что для каждого атома характерен свой определенный спектр излучения.

Возникновение электромагнитной теории света Максвелла – Герца и идея атомности электричества Гельмгольца – Стонея подводили к представлению об атоме как системе электромагнитных излучателей. В 1897 г. Лармор показал, что ускоренно движущийся заряд можно рассматривать как герцевский вибратор, излучающий энергию.

В 1897 г. Дж. Дж. Томсон провел исследования поведения катодных лучей в магнитном и электрическом полях, которые привели его к открытию электрона. После длительного обсуждения результатов экспериментов он пришел к заключению, что из атомов могут быть вырваны отрицательные заряженные частицы. Эти частицы имеют одинаковую массу, несут одинаковый отрицательный заряд и входят в состав всех атомов. Масса этих частиц меньше, чем одна тысячная массы атома водорода.

В 1903 г. в книге "Электричество и материя" на основании эмпирических обобщений Томсон высказал идею о строении излучающего атома. Он предположил, что атом является равномерно заряженной положительным электричеством сферой. Отрицательно заряженные электроны, число которых зависит от природы атома, погружены в этот положительный заряд и совершают гармонические колебания около положений равновесия. Электроны Томсон назвал корпускулами, совокупный отрицательный заряд на которых в атоме должен быть равен положительному заряду в сфере. В результате атом является электрически нейтральным [1].

Согласно модели атома Томсона электроны являются микроскопическими центрами, излучающими электромагнитные волны. Простейшей моделью элементарного излучателя света, пригодной для объяснения ряда оптических явлений, может служить линейный осциллятор [2].

Рассмотрим электрон, совершающий колебания под действием электрического поля. Он будет являться линейным гармоническим осциллятором

при условии, что сила, действующая на него со стороны поля, пропорциональна первой степени его удаления от положения равновесия и направлена к этому положению:

По аналогии с упругой силой все силы, удовлетворяющие указанному требованию, называются квазиупругими.

Пусть электрон массой  $m$ , совершает колебательные движения вдоль прямой  $r$ , принятой за ось координат. Будем считать, что начало координат совпадает с положением равновесия электрона. Тогда уравнение движения имеет вид:

$$m \ddot{r} = -k r,$$

где  $k$  – коэффициент квазиупругой силы. Перепишем данное уравнение следующим образом:

$$\ddot{r} + \omega_0^2 r = 0,$$

и вводя обозначение

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

получим

$$\ddot{r} + \omega_0^2 r = 0.$$

Решением этого уравнения является

$$r = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $A$  – максимальное смещение электрона от положения равновесия,  $\omega_0$  – циклическая частота свободных незатухающих колебаний электрона,  $\varphi_0$  – начальная фаза.

Движение, описываемое последней формулой, будет периодическим. Циклическая частота  $\omega_0$  связана с периодом  $T$  и линейной частотой  $\nu$ :

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu.$$

Отсюда

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$



Используя такое представление, можно удовлетворительно объяснить большой круг оптических явлений: рассеяние рентгеновских лучей, дисперсию света, поглощение катодных лучей, отклонение заряженных частиц, быстро движущихся сквозь вещество.

В классической теории дисперсии вещества предполагается, что каждый атом или молекулу вещества можно рассматривать как систему из  $Z$  гармонических осцилляторов, совершающих свободные незатухающие колебания с циклическими частотами  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_Z$ . Под действием электрического поля световой волны все эти осцилляторы совершают вынужденные колебания и вносят свой вклад в поляризацию вещества, а следовательно, и в выражение для его показателя преломления [3].

Применяя модель линейного осциллятора, можно определить частоту и длину волны, излучаемые атомом водорода, принимая, что радиус атома водорода  $r = 0,5 \cdot 10^{-10}$  м.

Напряженность электростатического поля внутри объемно заряженной сферы определяется по теореме Остроградского – Гаусса:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

где  $\rho$  – объемная плотность заряда,  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$  – объем сферы,  $r$  – ее радиус.

Тогда

$$E = \frac{4}{3}\pi\rho r.$$

Так как колебания электрона в атоме происходят под действием сил со стороны электрического поля, которые являются квазиупругими, то

$$F = -kx.$$

Отсюда

$$E = \frac{k}{e}x.$$

На основании приведенных рассуждений можно оценить ряд величин, характеризующих излучающий атом водорода. Объемная плотность положительного заряда атома водорода:

$$\rho = \frac{e}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3e}{4\pi r^3}.$$

Циклическая частота колебаний электрона в атоме водорода:

$$\frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{1}{2\pi} \frac{v}{r}$$

Частота света, излучаемого атомом водорода:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Соответствующая ей длина волны в спектре излучения:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

Как известно, длины волн, излучаемые атомом водорода в ультрафиолетовой части спектра имеют границы  $\lambda_{\min} = 91$  нм и  $\lambda_{\max} = 121$  нм. Рассчитанная нами длина волны не принадлежит данному интервалу. Отсюда видно, что некоторые следствия из модели атома Томсона либо противоречат опытному данным по спектрам атомов, либо имеют ограниченную применимость. Как известно, наблюдаемые в то время узкие линии спектра в газоразрядных трубках соответствовали частотам колебаний электронов в атоме, рассчитанным по теории Томсона. Инфракрасные колебания ионов в молекулах дают спектр, составленный из линий, приблизительно подчиняющихся периодическому закону, но линии в видимых и ультрафиолетовых спектрах подчиняются совсем другим законам, объяснение которым можно дать только на основании квантовой теории.

Модель Томсона не выдержала проверки в эксперименте. Она не могла объяснить дискретный характер спектров атомов, испускание атомами рентгеновского и гамма – излучений, противоречила опытам по изучению распределения положительного заряда в атоме.

Проблемой было объяснение устойчивости атома. Согласно классической теореме Ирншоу об электростатическом поле, всякая равновесная конфигурация точечных зарядов неустойчива, если на них кроме кулоновских сил притяжения и отталкивания не действуют другие силы. Резкие спектральные линии в излучении атомов указывали на их устойчивость, противоречащую классической электродинамике.

Значение модели атома Томсона в том, что она выявила основные проблемы, которые следовало решить при создании модели атома, которая, несомненно, должна была включить электроны как составные части.

В процессе формирования атомной теории появлялись разнонаправленные гипотезы. Новая модель атома – планетарная – возникла тогда, когда

старая еще не исчерпала себя полностью. Базис новой теории имел сложную структуру. Вся совокупность представлений, фрагментов физической картины мира, на наш взгляд, послужила эмпирическим базисом принципа соответствия, т. е. каждая новая теория включала в себя старую, как частный случай при определенных условиях. Тем самым демонстрируя, что новая смена парадигм в физике происходит согласно принципам соответствия.

### **Библиографический список**

1. Кудрявцев, П. С. История физики. Т. 3. От открытия квант до создания квантовой механики / П.С. Кудрявцев. – М. : Просвещение, 1971. – 424 с. : ил.
2. Шпольский, Э. В. Атомная физика. Т. 1. Введение в атомную физику / Э. В. Шпольский. – Изд. 6-е, испр. – М. : Наука, 1974. – 576 с. : ил.
3. Детлаф, А. А. Курс физики : Учеб. пособие для втузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – 4-е изд. испр. – М. : Высш. шк., 2002. – 718 с. : ил.

## Время в научной и художественной картинах мира

**Никонов О. А.<sup>1</sup>, Шингаров Г. Х.<sup>2</sup>, Келлер Г. С.<sup>3</sup>, Шолохов В. С.<sup>4</sup>** (<sup>1,3</sup>г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра общей и прикладной физики, кафедра философии и права; <sup>2</sup>г. Москва, НАЧОУ ВО, "Современная гуманитарная академия", кафедра философии; <sup>4</sup>г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский арктический государственный университет", кафедра математики, физики и информационных технологий)

**Аннотация.** В статье рассматривается концепция времени в специальной теории относительности и в творчестве Марселя Пруста. Общие черты этих представлений являются отражением единства мира. Авторы считают, что развитие науки и искусства неизбежно приведут к формированию единой общекультурной картины мира.

**Abstract.** The article deals with the concept of time in the special theory of relativity and in the works of Marcel Proust. The common features of these concepts reflect the unity of the world. The authors believe that the development of science and art will inevitably lead to the formation of a common cultural picture of the world.

**Ключевые слова:** время, пространство, бытие, теория относительности, одновременность.  
**Key words:** time, space, being, the theory of relativity, synchronicity.

"Наука – лестница.  
Поэзия – взмах крыльев"  
Виктор Гюго

Проблема пространства и времени является актуальной в философии, науке и искусстве. Современной физической теорией пространства и времени являются специальная и общая теория относительности.

Философское значение теории относительности состоит в том, что она содержит естественнонаучное подтверждение развивающихся представлений о пространстве и времени.

Теория относительности совершенно по-новому решает проблему пространства и времени, формулируя ее как физическую и, вместе с тем, глубоко вскрывает тесную связь философии и естествознания, и по нашему мнению, также и литературы и искусства.

Открытия науки и искусства в XX в. постоянно и неизменно подводят человека к основанию многомерности, загадочности мира, исключаящих простоту и ясность вопросов и ответов. В искусстве нет формул и уравнений, но оно всегда искало способы передать бег ускользающего времени и непо-

вторичность настоящего. И художник и физик как бы втянуты во внутрь изучаемых процессов. Импрессионист попытается передать не только мгновение, но и чувство летящего неостановимого времени. Образ мира и художественный и научный, это – динамичное, изменчивое непредсказуемое во времени и пространстве бытие. И образ человека нашего времени утрачивает прочные опоры: всё кажется случайным, непредсказуемым, лишенным надёжности. Критерии и оценки текучи, нестойки, относительны. Нет предела переосмыслению всего и вся. Художники создают свой мир. Мир Марселя Пруста отражается в романе в "В поисках утраченного времени" [1].

В литературном творчестве для него единственным способом замедлить бег времени, поймать, убегающее время был процесс творческой работы над "романом-рекой". Воспоминания Пруста остаются единственной и достоверной реальностью.

Марсель Пруст в юности был знаком с Анри Бергсоном (1859–1941), посещал его лекции и изучал философские идеи мыслителя. Владимир Набоков замечает: "...произведения Пруста суть иллюстрированное издание учения Бергсона. Жан Кокто назвал его книгу "гигантской миниатюрой, полной миражей, висячих садов, игр между временем и пространством" [1].

О Марселе Прусте говорят как о писателе, от которого пошла в европейской культуре литература "потока сознания". Всё течёт, всё воспроизводится в реке изменчивого бытия. Человек отделён от окружающего мира своим внутренним миром, своим "внутренним садом", своими ощущениями и восприятием, своим сознанием, которым герой романа Марсель окружён и в то же время укрыт в нём. Из потока воспоминаний всплывают события, дома, прогулки, люди, природа, вкусы и запахи. Душевное состояние действующих героев изображается как цепочка переживаний, калейдоскоп мыслей, образов. Мир и время разбивается на множество мелких субъективных осколков. Сознание выходит на первый план, и герой и мир оказались внутри сознания. Погружаясь в "поток сознания", герой жаждал остановить мгновение и пережить чувство своей уникальности. Жизнь – череда невозвратимых мгновений, бег времени, которому человек подчинён. И в этом движении время владеет человеческой жизнью, но человек не владеет временем, не владеет своей жизнью и время уносит её в вечность. Сознание не живёт настоящей минутой, а впечатление есть отпечаток в человеке минуты. "Знакомые места – это всего лишь пространство, на котором мы располагаем их, как нам удобнее. Это всего лишь тонкий слой связанных между собой впечатлений, из которых складывалось наше прошлое; воспоминание о неком

образе есть лишь сожаление о неком миге. Дома, дороги, аллеи столь же – увы! – недолговечны, как и года" [2]<sup>5</sup>. Впечатления становятся повторными. Повторения воспоминаний и впечатлений – это как бы умножение времени. "Так сильно, по прихоти погоды, действует на наш организм атмосфера: она извлекает из тёмных заповедников, где мы предаём их забвению, записанные у нас в душе мелодии, которые не сумела прочесть наша память. Вскоре к музыканту, которого я слушал в себе, – даже не сразу узнав, что он играет, – присоединился наделённый большей ясностью мечтатель"<sup>6</sup> [3]. В результате, впечатления принадлежат и прошлому и настоящему. Одновременность относится к разным двум временам. Время настоящее – сложно, ново, неизвестно. Давление современного мира на личность и её сознание многократно усилилось. Наступление тотальной массовой культуры с её средним человеком, с её упрощённостью, потоком "ложных потребностей" поглощает повседневность. Человек не успевает за потоком времени, за темпом его движения. Видимо, поэтому мотивы защиты, убежища так важны в произведениях Пруста. Сознание ищет в настоящем то, что присутствует одновременно с прошлым.

В последних романах чётко выделяются "три времени": время воспоминаний о детстве, время описываемых событий, время реальное. Время памятью раскрывается прекрасным веером, и как веер одномоментно складывается в единое целое. Творчество замечательного писателя Марселя Пруста создаёт особый, имеющий свою неповторимую атмосферу, свои краски, свои законы, картину, которая отражает мир ярко, интересно, неповторимо во времени и пространстве.

В физике представления о пространстве и времени сформулированы в специальной теории относительности. Одним из центральных понятий которой является "одновременность" события"<sup>7</sup>[4]. (С. 9–10). Далее он отмечает: "Итак, мы видим, что не следует придавать абсолютного значения понятию одновременности. Два события, одновременные при наблюдении из одной координатной системы, уже не воспринимаются как одновременные при рассмотрении из системы, движущейся относительно данной системы". (С. 13) [4]<sup>8</sup>.

---

<sup>5</sup> Пруст, М. По направлению к Свану: роман – М., 2003. – С. 492.

<sup>6</sup> Пруст, М. У Германтов : роман / Марсель Пруст; пер. с фр. Н. Любимова. – М. : Художественная литература, 1980. – С. 148–149.

<sup>7</sup> Эйнштейн А. Теория относительности. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". – 2000, С. 9–10.

<sup>8</sup> Эйнштейн А. Теория относительности. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". – 2000, С. 13.

В. А. Угаров указывает, что очень важно подчеркнуть, что относительность одновременности обусловлена конечностью скорости света. Если совершить формальный переход к пределу  $c \rightarrow \infty$  (фактически это означает условие  $V \rightarrow 0$ ), то одновременность становится абсолютной. Этот результат относится к случаю малых относительных скоростей систем отсчета (С. 69) [5]<sup>9</sup>.

Во многом представления Эйнштейна о пространстве и времени разделял и А. Бергсон, а, что касается критики СТО, он писал: "Положения Эйнштейна оказались не только не противоречащими обычной вере людей в единое универсальное время, но они утверждали ее, они сообщили ей что-то вроде доказательства. Они кажутся парадоксальными просто вследствие их непонимания"<sup>10</sup> [6].

Пруст сосредоточил всю свою работу на концепции времени. Однако, в отличие от Бергсона, его восприятие времени не только не противоречило положениям теории Эйнштейна, но, даже наоборот, было удивительно близко к ним. Некоторые читатели Пруста, введенные в заблуждение общим названием его шедевра "В поисках утраченного времени", считают, что прустовская концепция времени в неумолимом течении времени, оставляющем человеку лишь возможность сожалеть о его безвозвратном беге. Однако, на самом деле, в основе этого произведения лежит идея о том, что ход времени – просто иллюзия и что лишь иногда люди могут приблизиться к "истинной, как правило скрытой сути порядка вещей" и почувствовать, что истинная природа человека "свободна от этого времени", в котором Пруст в своих размышлениях на утреннике в особняке принца де Германта раскрывает свою философию времени. Ему представляются люди, балансирующие на возвышении прожитых лет, как если бы они "стояли на постоянно растущих, подчас выше колоколен, живых ходулях". Другими словами Пруст создает образ реальности, в которой время добавляется к пространству как своего рода вертикальное измерение, символически представленное в приведенной выше цитате в виде ходуль. У Пруста течение времени больше не существует и истинное "я", "свободное от порядка времени" оказывается способно, пусть даже на какие-то мгновения (для героя романа это созерцание колоколен

---

<sup>9</sup> Угаров В. А. Специальная теория относительности. Изд. 3-е, стереотипное. – М.: Едиториал УРСС, 2005. С. 69.

<sup>10</sup> Бергсон Анри. Длительность и одновременность. – М.: Добросвет, КДУ, 2006. – С. 3-4.

Мартенвиля, красота Бальбека...), наслаждаться вечным поклонением реальности. Это представление Пруста о неподвижном времени, которое добавляется к пространству как новое вертикальное измерение, очень перекликается с релятивистской концепцией пространства-времени. Нужно заметить, что Прусту было известно о близости его представлений о времени и тех идей, которые следуют из научных работ Эйнштейна (С. 201–205) [7]<sup>11</sup>.

Представления Пруста напоминают нам наглядное объяснение теории относительности. Первая форма объяснения генетически связана с натурфилософским объяснением. Возникает представление о физической реальности, т. е. из целостной реконструкции мироздания, даваемой натурфилософией, выделяется некоторая схема, которая осмысливается при помощи физического эксперимента. Возникновение онтологического объяснения можно связать с формулированием принципа единства физической картины мира. Этот принцип заменяет принцип целостной реконструкции мироздания, на котором основывались натурфилософские построения.

### **Библиографический список**

1. Набоков, В. В. Лекции по зарубежной литературе / В. В. Набоков; под общ. ред В. А. Харитонов; предисл. А. Г. Битова – М. : изд-во "Независимая газета", 1998. – 512 с.
2. Пруст, М. По направлению к Свану: роман – М., 2003. – С. 492.
3. Пруст, М. У Германтов : роман / Марсель Пруст; пер. с фр. Н. Любимова. – М. : Художественная литература, 1980. – С. 148–149.
4. Эйнштейн А. Теория относительности. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". – 2000. – 224 с.
5. Угаров В. А. Специальная теория относительности. Изд. 3-е, стереотипное. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 384 с.
6. Бергсон, А. Длительность и одновременность / А. Бергсон. – 2-е изд. – М. : Добросвет; изд-во "КДУ", 2015. – 160 с.
7. Дакур Тибо Мир по Эйнштейну. От теории относительности до теории струн. Изд-во Альпино нон-фикшин 2016. – 268 с.

---

<sup>11</sup> Дакур Тибо Мир по Эйнштейну. От теории относительности до теории струн. Изд.-во Альпино нон-фикшин 2016 268 с. (984) (3,67). С. 201 – 205.



**ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА  
В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ:  
ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА И РАЗВИТИЕ  
НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ**

## **Фундаментные конструкции железнодорожных зданий в сложных инженерно-геологических условиях сурового климата**

**Белаш Т. А., Михайлюк Е. Р.** (г. Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО "Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I", кафедра "Здания")

**Аннотация.** Приведён обзор фундаментных конструкций железнодорожных зданий в сложных инженерно-геологических условиях г. Мурманска. Выполнены фотофиксация дефектов фундаментов, анализ и оценка технического состояния фундаментных конструкций.

**Abstract.** The review of foundation constructions of railway buildings in difficult engineering geological conditions of Murmansk is represented. Photos of defects of foundations, analysis and appraisal of technical conditions of foundation constructions have been made.

**Ключевые слова:** инженерно-геологические условия, фундаменты железнодорожных зданий, фундаментные конструкции, здания, дефект.

**Key words:** engineering geological conditions, foundations of railway buildings, foundation constructions, buildings, defects.

Часть северной территории Российской Федерации, по которой проходит разветвлённая сеть железных дорог, расположена в Арктике. Данной области характерны сложные инженерно-геологические условия такие, как вечномёрзлые грунты, оказывающие существенное влияние как на проектирование и строительство фундаментов железнодорожных зданий, так и на их эксплуатацию.

Цель данной работы – произвести обзор фундаментных конструкций железнодорожных зданий в сложных инженерно-геологических условиях Арктики, на примере фундаментов железнодорожных зданий города Мурманска, и выполнить оценку их технического состояния.

Варианты конструкции фундаментов железнодорожных зданий, расположенных в Мурманске, разнообразны. Для города характерны плитные, столбчатые, свайные и ленточные фундаменты, как сборные, так и монолитные (рис. 1).

Для инженерной оценки технического состояния конструктивных элементов применяется диагностика, которая основывается на следующих методах:

- визуальном определении износа по внешним признакам;
- инструментальной оценке состояния конструкций с помощью приборов;
- инженерном анализе диагностических данных с целью оценки технического состояния и разработке мероприятий по усилению конструкций [1].

В данной работе оценка состояния фундаментов железнодорожных зданий произведена на основе визуального осмотра несущих стен. Также была выполнена фотофиксация обнаруженных дефектов.

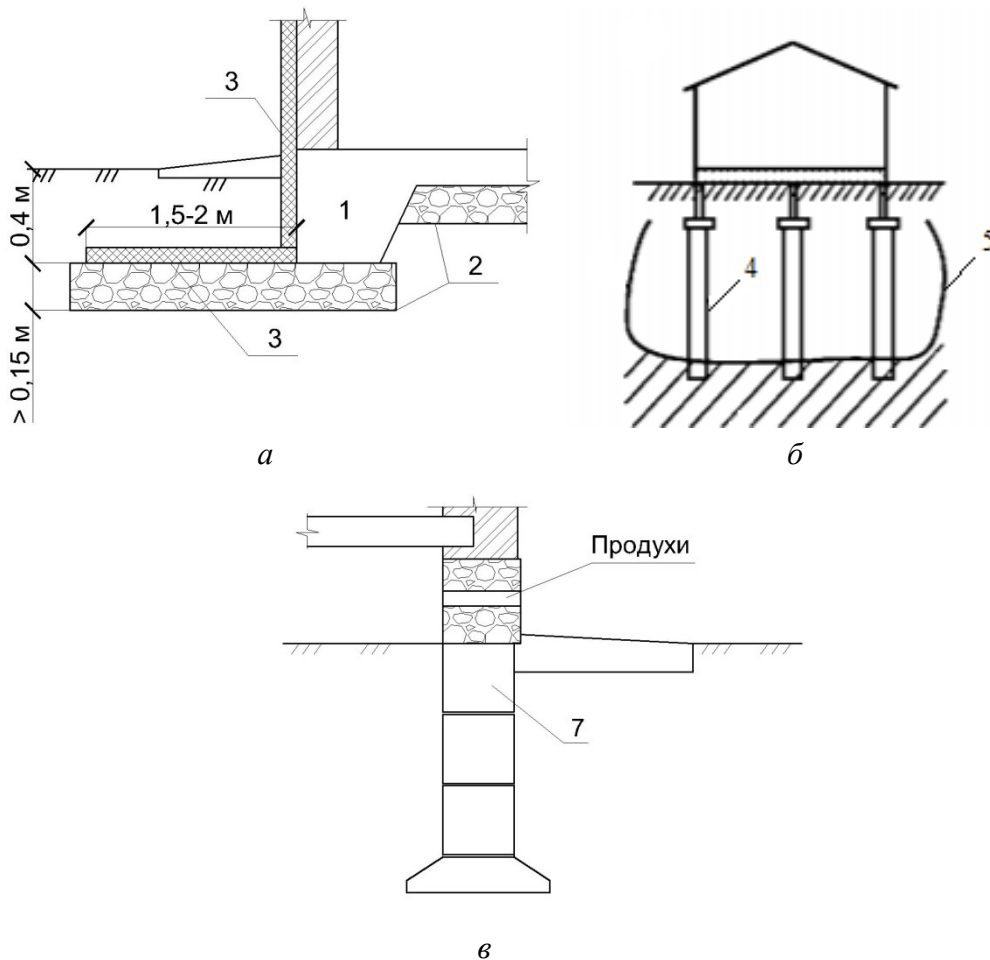


Рисунок 1 – Фундаментные конструкции железнодорожных зданий в г. Мурманске:  
а – плитный фундамент отапливаемого здания; б – свайный фундамент; в – сборный ленточный фундамент; 1 – плитный фундамент; 2 – подстилающий слой из щебня;  
3 – утеплитель (Пенопэкс); 4 – свая; 5 – граница чаши протаивания;  
6 – вечномёрзлый грунт; 6 – сборный ленточный фундамент

Был произведён визуальный осмотр следующих зданий:

1) Гараж для двух машин, расположенный на станции Мурмаши (рис. 2).



Рисунок 1 – Гараж для двух машин, расположенный на станции Мурмаши

Трещина в кладке стены здания осадочная. Следовательно, необходимо произвести инструментальное исследование эксплуатационного состояния фундаментных конструкций здания и выполнить инженерный анализ диагностических данных, после чего разработать мероприятия по устранению дефекта.

2) Здание вокзала на станции Ягельный Бор (рис. 3).



Рисунок 3 – Здание вокзала на станции Ягельный Бор:  
а – главный фасад; б – фасад здания с трещиной

Зафиксированные трещины температурные. Они возникли из-за щели в месте стыка материала заполнения оконного проёма и стены здания.

3) Подвал административного здания, расположенного по адресу: город Мурманск, улица Привокзальная, дом 20 А (рис. 4).



*а*

*б*



*в*

Рисунок 4 – Помещения подвала административного здания, расположенного по адресу: город Мурманск, улица Привокзальная, дом 20 А:

а – коридор; б, в – дефекты конструкций

Зафиксированные трещины образованы в стенах, выполняющих только ограждающие функции, следовательно, фундаменты здания находятся в удовлетворительном состоянии, и их усиление не требуется.

4) Подвал административного здания, расположенного по адресу: город Мурманск, улица Челюскинцев, 23 А (рис. 5).



*а*

*б*

Рисунок 5 – Подвал административного здания, расположенного по адресу: город Мурманск, улица Челюскинцев, 23 А: а – коридор; б – дефекты конструкций

В данном здании не были обнаружены значительные повреждения несущих конструкций. Таким образом, фундаментные конструкции находятся в удовлетворительном состоянии.

5) Подвал здания контрольно-испытательного пункта, расположенного по адресу: город Мурманск, улица Портовый проезд, дом 46, корпус 1 (рис. 6).



Рисунок 6 – Подвал здания контрольно-испытательного пункта, расположенного по адресу: город Мурманск, улица Портовый проезд, дом 46, корпус 1

Трещина, изображённая на рис. 7, возникла ввиду реакции штукатурного слоя на тепловую энергию трубы отопления. Данный дефект располо-



жен только на глубину отделочного слоя стены и не влияет на несущую способность стены.



Рисунок 7 – Дефекты конструкций подвала.  
Других повреждений конструкций здания не обнаружено.

Таким образом, фундаменты здания находятся в удовлетворительном состоянии.

б) Здание релейной будки, расположенное на перегоне Волховстрой-Мурманск, БП 1425 км (рис. 8).



Рисунок 8– Главный фасад здания релейной будки, расположенное на перегоне Волховстрой – Мурманск, БП 1425 км

Трещина здания осадочная (рис. 9). Требуется мониторинг деформаций несущих элементов здания и устранение дефекта.



Рисунок 9 – Дефекты конструкций здания

Анализ технического состояния существующих железнодорожных зданий показал, что эксплуатационное состояние фундаментных конструкций вполне удовлетворительное. В ряде случаев требуется заделка трещин и проведение косметического ремонта.

### **Библиографический список**

1. Эксплуатация и ремонт железнодорожных зданий в особых природно-климатических и сейсмических условиях./ Т. А. Белаш, В. С. Казарновский. – М.: ВГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2011.

## Использование теплонасосных устройств в коттеджном домостроении

**Попова О. М.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен вопрос проектирования системы теплоснабжения коттеджа. Для энергоснабжения предложены различные варианты и источники энергии (воздух, грунт, вода), а также обоснование их применения на территории города Мурманска.

**Abstract.** This article discusses the design of the heating system of the cottage. For power supply, various options and energy sources (air, soil, water) are offered, as well as justification for their use in the city of Murmansk.

**Ключевые слова:** системы теплоснабжения, низкопотенциальные источники энергии, тепловой насос, теплонасосная установка, система "теплый пол", дополнительный источник тепла, тепло грунта, тепло наружного воздуха.

**Keywords:** heat supply systems, low-grade energy sources, heat pump, heat pump installation, "warm floor" system, additional heat source, ground heat, outdoor air heat.

В настоящее время в Российской Федерации активно развивается коттеджное строительство. Данное новшество коснулось и нашего региона. Поэтому приоритетной задачей при строительстве коттеджного дома является эффективное энергоснабжение с учетом современных требований. В условиях растущих цен на энергетические носители проектировщики все чаще обращаются к идее применения низкопотенциальных источников энергии.

Для теплоснабжения коттеджного дома возможно использование теплонасосных установок (ТНУ), позволяющих преобразовать тепло низкого потенциала в более высокий уровень. ТНУ проектируются для каждого конкретного объекта в зависимости от тепловых нагрузок, климатических условий района строительства, источников возможного использования тепла, характеристик грунта и стоимости энергоносителей.

В данной статье особое внимание уделено вопросу выбора схемы теплоснабжения коттеджа с применением ТНУ и выбора источника тепла.

Выбор температуры теплоносителя для системы отопления и горячего водоснабжения (ГВС).

Максимальная температура теплоносителя, выходящего из теплонасосной установки, зависит от свойств холодильного агента, применяемого в системе. Наибольшее применение получили системы, работающие на озонобезопасных хладагентах (R134a, R410C, R407C, R404a и др.).



Для теплоснабжения коттеджного дома можно применять следующие схемы системы теплоснабжения.

Системы отопления с температурным графиком 70/50 °С, где 80 % потребности в тепле будет покрываться за счет теплонасосной установки (ТНУ). Теплоноситель на выходе из теплового насоса будет иметь температуру до 55 °С, что обеспечит требуемую температуру системы ГВС. Однако при такой схеме требуется установка дополнительного источника тепла в виде электрического котла (рис. 1, а) или электрических конвекторов (рис. 1, б). При проектировании отопительных приборов необходимо рассмотреть возможность увеличения их площади нагрева [1].

Системы теплоснабжения "теплый пол" с температурным графиком 45/35 °С и использование дополнительного источника тепла (рис. 1, в). Тепловой поток системы "теплый пол" зависит от конструктивного исполнения (шаг и диаметр укладки труб), толщины и коэффициента теплопроводности укладочного материала (стяжки) и напольного покрытия. Однако существуют проблемы с регулированием отпуска тепла при резком снижении температуры наружного воздуха, что часто характерно для Мурманской области, когда за сутки температура наружного воздуха может измениться на 10–15 °С [1].

Для применения данной схемы необходимо предусмотреть энергосберегающие мероприятия ограждающих конструкций, а в частности обеспечить теплоизоляцию коттеджа, устройство вентилируемых окон (для сокращения воздухопроницаемости и увеличения сопротивления оконных блоков), установка дополнительного (тройного) остекления и др.

Высокотемпературные системы. На рис. 2 представлена схема получения теплоносителя с двумя различными температурами. Для этого в схеме используется два тепловых насоса. Источником тепла для второй установки является теплоноситель системы "теплый пол" с температурой 45 °С, благодаря чему на выходе из второго теплового насоса можно получить воду с температурой до 80 °С [2].

Вторым важным шагом при проектировании является выбор системы теплового насоса. Источником тепла для ТНУ может являться наружный воздух, грунт и подземные источники воды, речная и морская вода.

Решение о выборе системы работы ТНУ должно приниматься с учетом сравнения капитальных (должна быть учтена не только стоимость оборудования, но и оценка освоения источника) и эксплуатационных затрат с традиционными способами теплоснабжения.

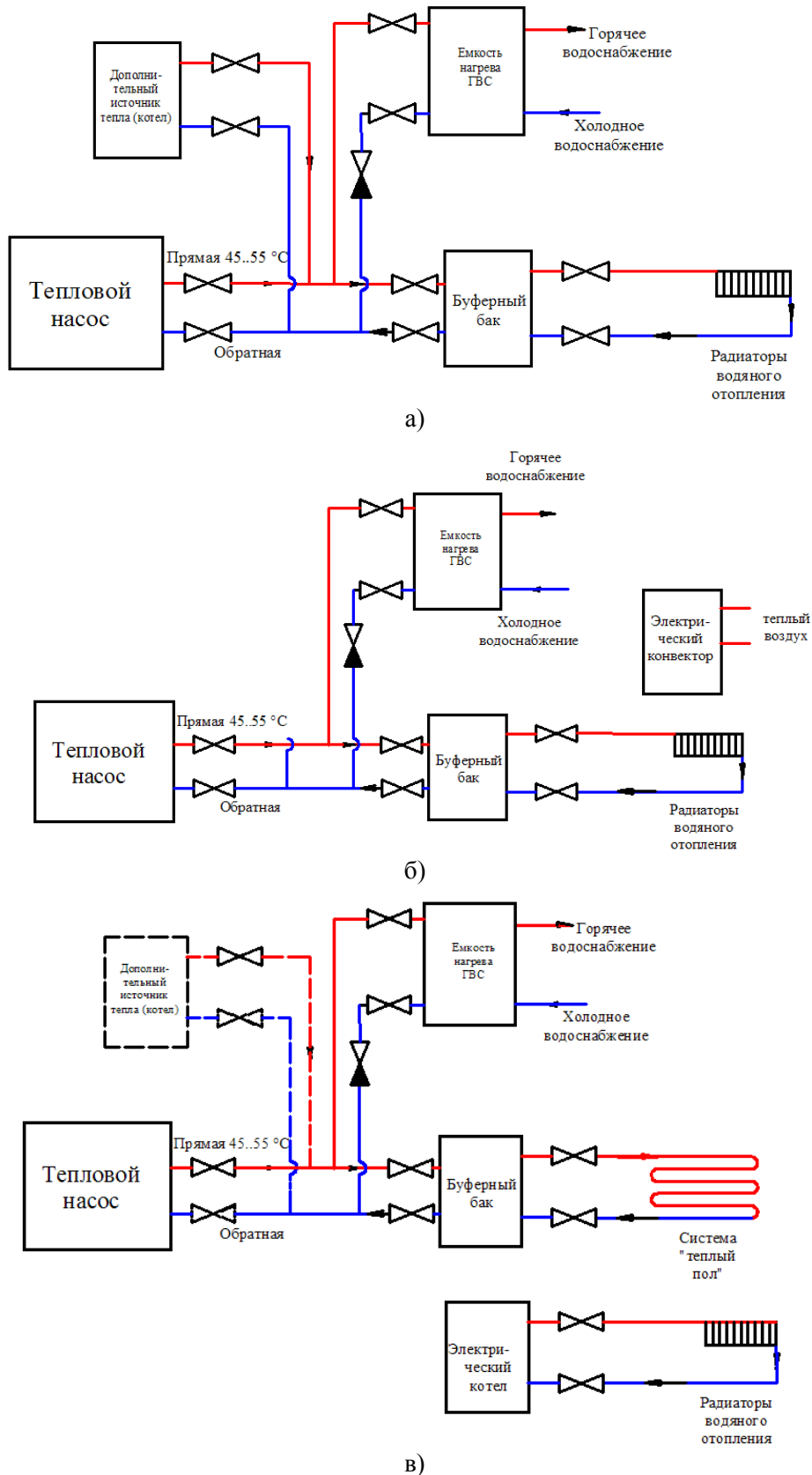


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы теплоснабжения коттеджа с использованием ТНУ: а) последовательная схема с электрическим котлом, б) параллельная схема с электрическим конвектором, в) параллельная схема система "теплый пол" и электрический котел [1]

Система воздух-воздух, воздух – вода. Теплота воздуха подвержена сезонными и кратковременными колебаниями температуры в зависимости от погодных условий, что влечет за собой изменения режимов. Данную систему целесообразно использовать в климатических зонах с достаточно высокой (не ниже +5 °С) температурой и со стабильными погодными условиями. Поэтому применение наружного воздуха в качестве низкопотенциального источника в Мурманской области не целесообразно.

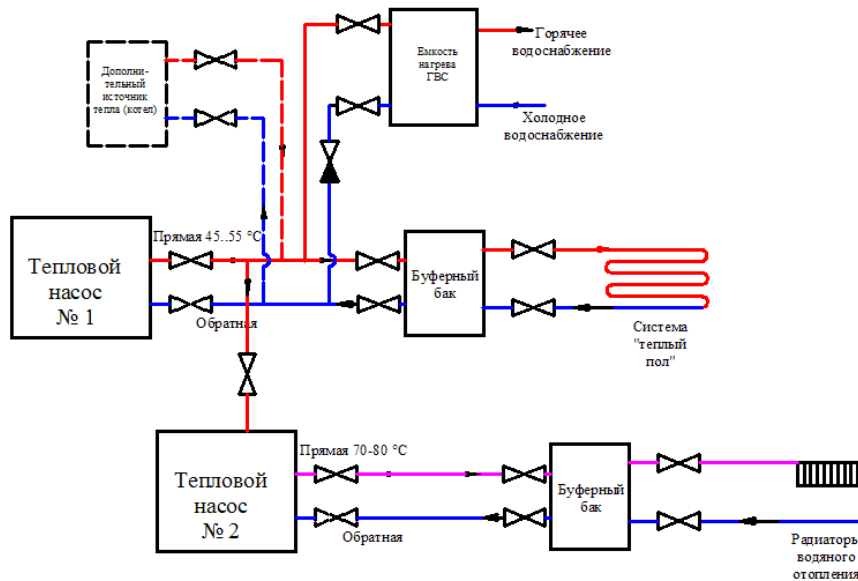


Рисунок 2 – Высокотемпературная система теплоснабжения коттеджа

Система вода-вода. Вода рек, водоемов является источником для ТНУ, однако ее температура подтверждена колебаниям в зависимости от сезона. Данные системы проектируются ниже глубины промерзания (не менее двух метров в зависимости от географической широты местности). Морская вода является перспективным источником. Температура воды не опускается ниже 0 °С, однако при подборе оборудования должны быть учтены физико-химические свойства воды (соленость, плотность). Ввиду характера местности нашего региона (скалистый берег, отсутствие земельных участков в прибрежной зоне Баренцева и Белых морей) проектирование ТНУ с использованием морской воды проблематично.

Также необходимо учитывать воздействие коррозии на элементы ТНУ и предотвращать накопление отложений органического характера в водозаборном трубопроводе. Желательно применять дополнительный контур незамерзающего теплоносителя на основе этиленгликоля, пропиленгликоля, глицерина или метанола, этанола. При использовании тепла открытых во-

доемов контур такой системы размещается в водоеме на дно, что должно учитываться в технико-экономическом обосновании.

Грунтовые и подземные воды обладают достаточно высокой теплоотдачей и имеют постоянную температуру (от 4 до 10 °С), что обеспечивает эффективность и стабильность режимов работы тепловых насосов [3].

Для извлечения подземных вод бурятся скважины (приемная и дренажная, рис. 3) диаметром 10÷20 см, глубиной 50–150 м. Использование подземных вод в соответствии со статьей 19 ФЗ "О Недрах" требует получение лицензии на недропользование. Не требуется лицензия, если скважина удовлетворяет следующим условиям: объем извлекаемой воды не превышает 100 м<sup>3</sup> в сутки; вода добывается выше водоносного горизонта (проверку осуществляет территориальный фонд геологической информации), который является источником централизованного водоснабжения; вода используется только для собственных нужд [4].

Для обеспечения тепловой мощности в 10 кВт потребуется расход воды равный 41,24 м<sup>3</sup>/сутки (расчет проведен при теплоемкости воды 4 190 Дж/(кг К), плотности 1 000 кг/ м<sup>3</sup> и разности температур воды на входе и выходе из теплообменного аппарата 5 °С).

Таким образом, необходимо уточнить, где добывается вода (выше или ниже водоносного горизонта), в противном случае для собственника скважины необходимо разрабатывать полный комплекс мероприятий по геологическому изучению участка недр для оценки подземных вод, что для целей теплоснабжения является довольно затратным мероприятием.

Система грунт – вода.

Грунт поверхностных слоев Земли обладает высоким температурным потенциалом. Для использования тепла применяются горизонтальные и вертикальные схемы (рис. 3). В схемах используется контур с незамерзающим теплоносителем.

Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками получили наибольшее распространение. Глубина скважин (от 50 до 200 м) зависит от объема обогреваемой площади и состава грунта. Системы грунт-вода не эффективно работают в грунте с низкой теплопроводностью, например, сухого песка, сухого гравия, известняка.

Для Мурманска характерны влажные грунты, преобладает суглинок, высокое преобладание валунов. Значение удельной мощности для данного

типа грунта составляет 10–30, Вт/м<sup>2</sup>. Для обеспечения тепловой нагрузки 10 кВт, потребуется длина горизонтального коллектора от 416,5 до 1 250 м. Укладывать контур длиной более 100 м нерационально из-за чрезмерно высокого гидравлического сопротивления, необходимо коллектор разделить на несколько контуров.

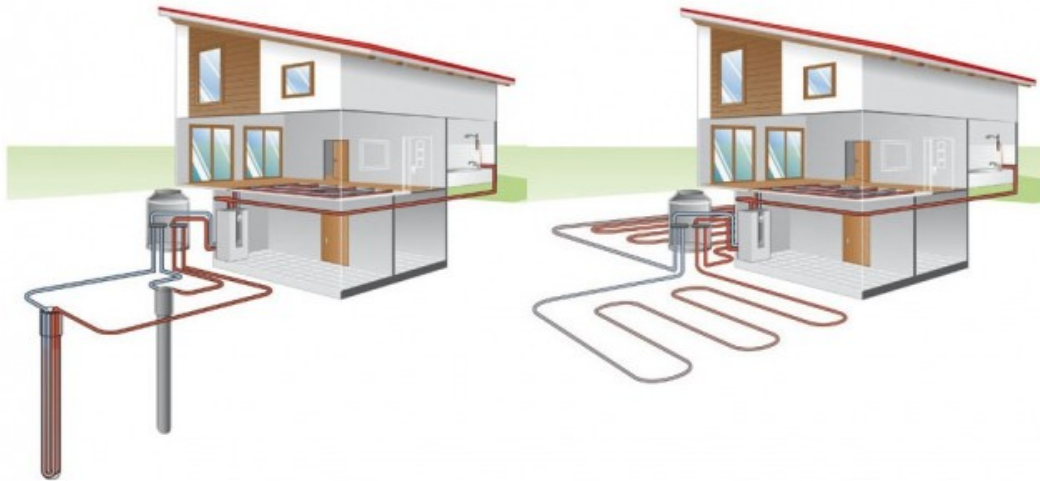


Рисунок 3 – Схема горизонтального и вертикального теплового насоса системы "грунт (рассол) – вода" [5]

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 4 мая 2011 г. № 99-ФЗ "О лицензировании отдельных видов деятельности" получение лицензии на бурение скважин и их обустройство не требуется.

### **Выводы**

Таким образом, при проектировании системы теплоснабжения загородного дома необходимо тщательно подходить к выбору источников энергии, выбор того или иного варианта осуществлять после технико-экономического обоснования путем сравнения с традиционными системами теплоснабжения. При этом не забывать, что эффективность применения теплонасосных установок существенно зависит от климатических и иных условий региона строительства коттеджного дома.

С учетом накладываемых ограничений по температуре теплоносителя на выходе из теплового насоса необходимо предусматривать разработку специальных технических и схемных решений, требующих капитальных вложений в дополнительные поверхности нагрева и дополнительный пиковый источник тепла.

В связи с отсутствием природного газа и высокой стоимостью сжиженного газа в Мурманской области оптимальным решением будет являться

применение низкотемпературной системы теплоснабжения 70/50 °С и дополнительным источником тепла (электрический котел), высокотемпературной схемы теплоснабжения. А в качестве источника низкопотенциального тепла использовать тепло грунта, подземные воды (в случае выполнения условий) или открытые водоемы.

### **Библиографический список**

1. Филиппов С. П., Дильман М. Д., Ионов М. С. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажной застройки // Теплоэнергетика. 2011. № 11. С. 12–19.
2. EMERSON. Применение высокотемпературных тепловых насосов для систем рекуперации теплоты // Холодильная техника. 2017. № 3. С. 10–12.
3. Васильев Г. П., Хрустачев Л. В. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии": ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ".
4. <https://www.ivd.ru/stroitelstvo-i-remont/zakony-i-finansy/novye-pravila-licenzirovania-vodanyh-skvazin-21223>.
5. <http://www.waermepumpen-ffb.de/Sole-Wasser.html>

# **ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АРКТИКЕ**

## Роль косых альвеновских волн в физике авроральных явлений

**Волков М. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра общей и прикладной физики)

**Аннотация.** В работе исследуется продольная и поперечная структура косых альвеновских волн. Проведенные вычисления показывают, что продольное электрическое поле в волне  $\sim 10^{-5}$  В/м, этого достаточно для ускорения электронов до 1кВ и образования авроральных форм. Поперечные размеры волн  $\sim 10^7$  км на ионосферном уровне.

**Abstract.** The longitudinal and transverse structure of oblique Alfvén waves is investigated. The computations show that the longitudinal electric field in the wave is  $\sim 10^{-5}$  V/m, this is enough to accelerate the electrons to 1kV and form auroral forms. The transverse dimensions of the waves are  $\sim 10$ -km at the ionospheric level.

**Ключевые слова:** альвеновская волна, магнитосфера, ионосфера.

**Key words:** alfvén waves, magnetosphere, ionosphere

### Введение

Под косой альвеновской волной будем понимать альвеновские волны, имеющие продольную (направленную вдоль магнитного поля Земли) компоненту электрического поля. Эти волны ещё называют инерционными или кинетическими [1]. Они не являются строго направленными, так как вектор Пойтинга этих волн направлен под углом к магнитному полю. Можно считать, что они распространяются почти вдоль магнитного поля, если  $\omega \gg \omega_{ce}$ , где  $\omega$  – поперечное и продольное волновое число. Продольная компонента электрического поля ускоряет электроны, но ускорение электронов происходит не в стационарном электрическом поле, а в поле волны, поэтому спектр ускоренных электронов не имеет моноэнергетического максимума, как над дугами полярных сияний. На рис. 1 показаны поперечная структура электромагнитного поля волны и энергия высыпавшихся электронов.

Наблюдаются отдельные всплески поперечной компоненты электромагнитного поля в несколько сот мВ/м. Спектр высыпавшихся электронов – плоский, подтверждающий ускорение электронов волнами. С данными структурами связаны авроральные формы, которые называют альвеновской авророй. Период колебаний этих волн 20–40 с. Это значительно больше времени распространения альвеновской волны в ионосферном резонаторе и меньше



периода колебаний магнитосферного резонатора. Далее будут представлены расчеты продольной структуры этих волн и поперечной структуры.

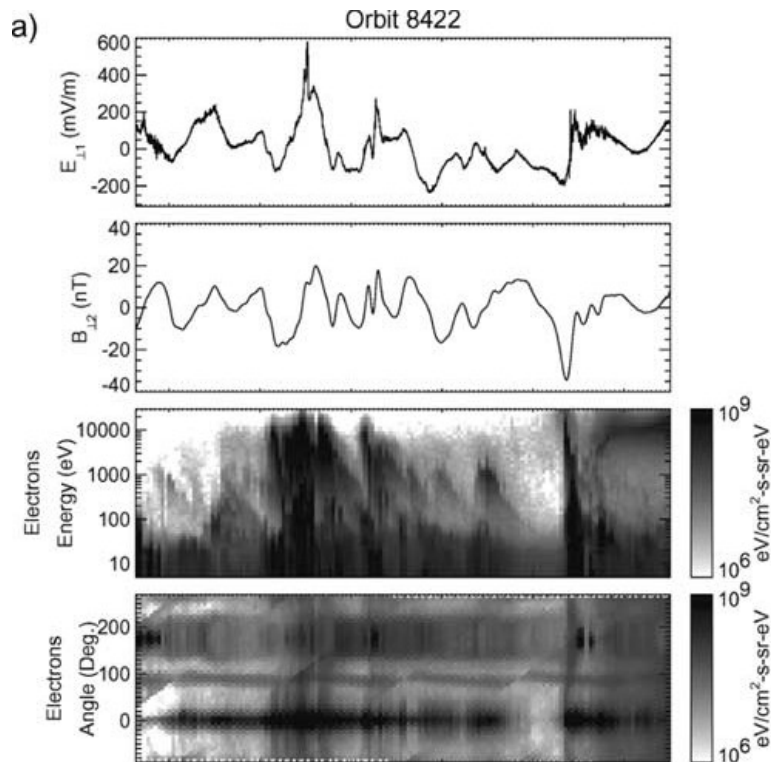


Рисунок 1 – Верхние два графика: наблюдение поперечного электрического  $E_{\perp 1}$  и магнитного  $B_{\perp 2}$  полей в Альвеновской волне, нижние два графика: спектр распределения электронов по энергиям и углам [1]

### Продольная структура косых альвеновских волн

В работе [2] рассматривается развитие электромагнитных возмущений альвеновского типа за счет обратной положительной связи между возмущениями в магнитосфере и возмущением в ионосфере для неоднородного вдоль магнитного поля магнитосферного резонатора. На рис. 2–3 приведена продольная структура альвеновских волн.

На рис. 3 представлены результаты численного моделирования электромагнитного поля косой альвеновской волны. В начальный момент времени задавалось возмущение продольного тока  $j$  на ионосферном уровне с поперечным масштабом 20 км. Начальные структуры тока нарастали в течение 100 с. Значение  $E_z$  становится заметным  $\sim 10^{-5}$  В/м, начиная с высоты  $z = -2R_E$ , когда концентрация магнитосферной плазмы начинает уменьшаться, достигая значения  $n = 10^6 \text{ м}^{-3}$ . Характерный период колебаний этих волн  $\sim 100$  с., что соответствует характерному периоду колебаний магнитосферного резонатора для моды с  $\lambda_z = 2L_z$ , где  $L_z = 10 R_E$  – расстояние от ионо-

сферы до экваториальной плоскости в магнитосфере. Можно оценить уско-  
ряющую разность потенциалов  $\Delta\phi$  или максимальную энергию электронов  
в волне  $\Delta\phi \sim 1 \text{ кВ}$ . Согласно [1] при токе  $j > 1 \text{ А/км}^2$  высыпаящиеся в ионо-  
сферу электроны с энергиями 1 кэВ вызывают видимую авроральную форму,  
по результатам моделирования токи достигают  $5 \text{ А/км}^2$ .

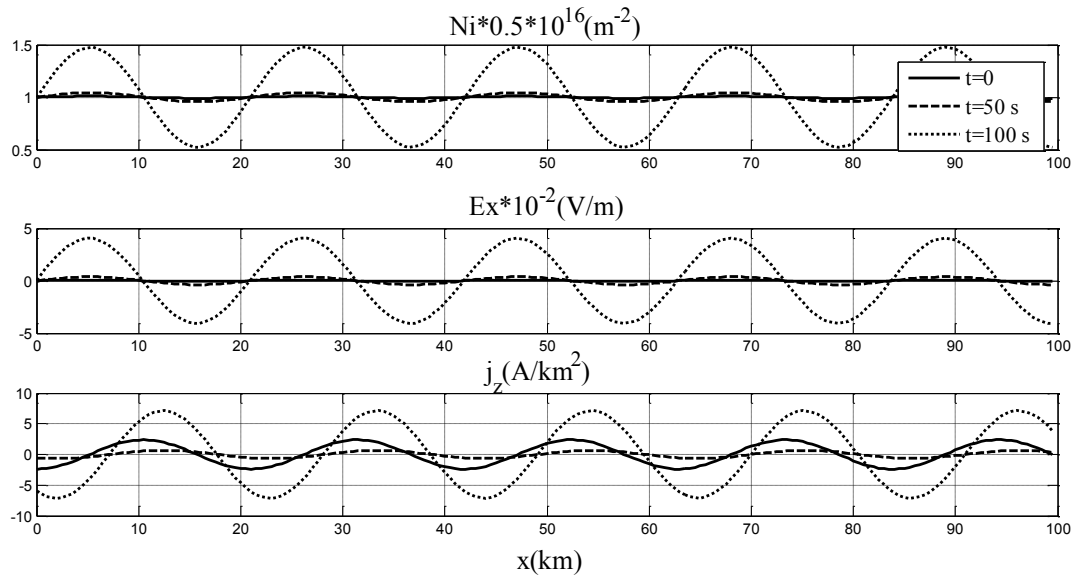


Рисунок 2 – Развитие возмущений в течение 100 с на ионосферном уровне

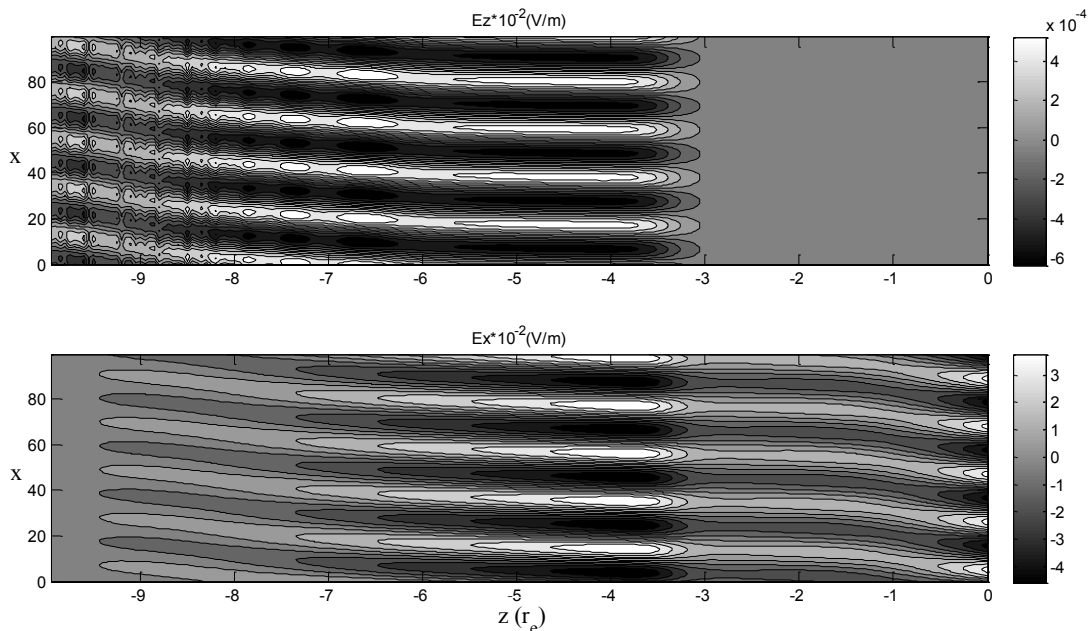


Рисунок 3 – Структуры продольного  $E_z$  и поперечного  $E_x$  электрического  
поля в магнитосфере в момент времени  $t = 100 \text{ с}$

### Поперечная структура косых волн в авроральной полости

Наблюдаемую поперечную структуру альвеновских волн можно объяснить, рассматривая распространение их в неоднородной поперек магнитного поля холодной плазме [3]. В работе задавалась параболическая зависимость концентрации холодной плазмы поперек магнитного поля  $n(x) = n_0(1 + x^2/L_A^2)$ , с минимумом в центре области, где  $L_A$  – характерный поперечный масштаб авроральной полости. Вдоль магнитного поля магнитосферный резонатор считался однородным. Решением этой задачи являются функции Эрмита  $H_n(\xi)$ , где  $\xi = x/(L_A\lambda_e)^{1/2}$ ,  $\omega_{p0}/c = 1/\lambda_e$ , где  $\omega_{p0}^2 = e^2 n_0/\epsilon_0 m_e$ ,  $c$  – скорость света.

Характерный масштаб изменения поля волны вдоль координаты  $x$  определяется величиной  $(L_A \lambda_e)^{1/2}$ .

Сделаем оценки значения  $n$ .

Примем концентрацию в центре полости  $n_0 = 10^6$   $1/м^3$ ,  $L = 20R_E$ ,  $p = 2$ , получим следующие значения величин:

$\lambda_e = 1$  км на ионосферном уровне;

$(L_A\lambda_e)^{1/2} = 10$  км на ионосферном уровне;

$n = 25(0.15/\omega^2 - 1)$ .

На рис. 4, 5 показаны зависимости  $H_y(\xi)$  и  $j_z(\xi) = (L_A\lambda_e)^{-1/2}\partial H_y/\partial\xi$  при  $z = 0$  и значениях  $n = 3$  и  $n = 30$ . Для этих значений  $n$  периоды колебаний  $T$  равны соответственно 20 с и 30 с.

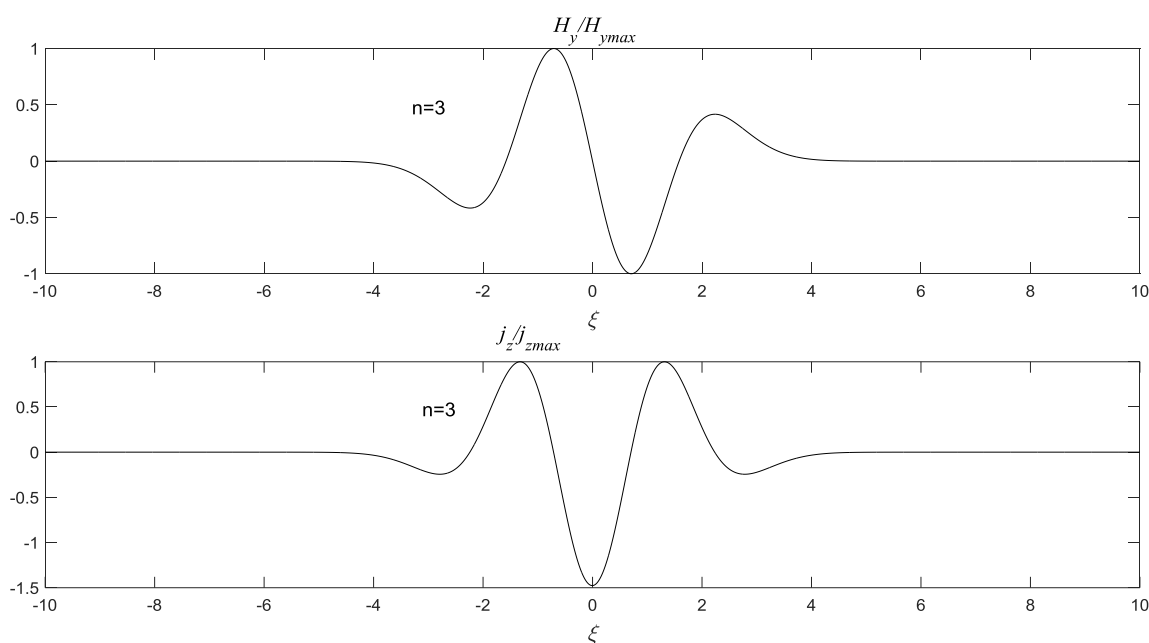


Рисунок 4 – Распределение магнитного поля и продольного тока поперек авроральной полости при  $n = 3$ ,  $\xi = x/(L_A\lambda_e)^{1/2}$ ,  $(L_A\lambda_e)^{1/2} = 10$  км

Как можно видеть из графиков поперечный масштаб структур вдоль оси  $x$  зависит не только от параметра  $(L_A \lambda_e)^{1/2}$ , в рассматриваемом случае 10 км, но и от значения  $n$ , с ростом  $n$  поперечный масштаб отдельных структур уменьшается. Для  $n = 3$  мы имеем дело практически с единичной структурой с масштабом 20 км, при  $n = 30$  появляется группа структур на масштабах  $\sim 6$  км.

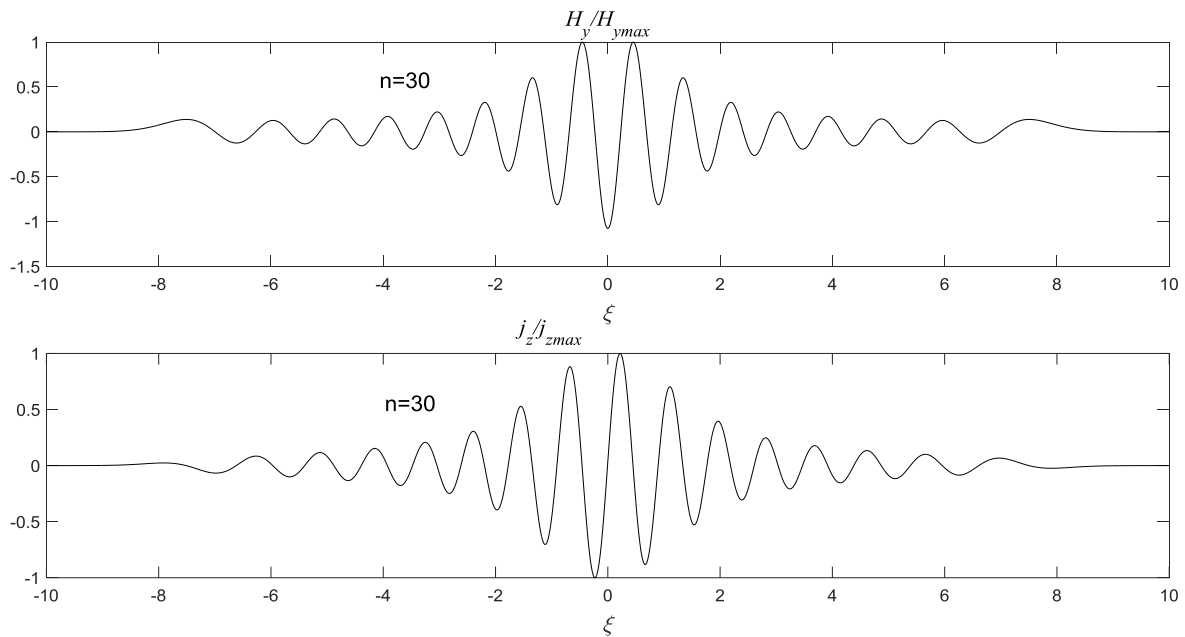


Рисунок 5 – Распределение магнитного поля и продольного тока поперек авроральной полости при  $n = 30$ ,  $\xi = x/(L_A \lambda_e)^{1/2}$ ,  $(L_A \lambda_e)^{1/2} = 10$  км

### Выводы

В работе представлены результаты расчета продольной, вдоль магнитного поля, и поперечной структуры косых альвеновских волн.

Величина продольной компоненты  $E_z$  электрического поля  $\sim 10^{-5}$  В/м, с учетом протяженности поля вдоль магнитной силовой линии этого значения достаточно для ускорения электронов до 1 кВ, и наблюдения авроральных форм.

Наблюдаемая поперечная структура волн может быть объяснена поперечной неоднородностью холодной плазмы. В этом случае решение получается в форме отдельных структур электромагнитного поля, с характерным масштабом на ионосферном уровне  $< 10$  км. и периодом  $\sim 40$  с.

Полученное решение может быть использовано для описания ряда авроральных явлений, так в работе [4] приведены наблюдения пульсирующих структур с периодом  $\sim 10$  с, состоящих из нескольких авроральных узких полос.

### Библиографический список

1. Chaston, C. C., L. M. Peticolas, J. W. Bonnell, C. W. Carlson, R. E. Ergun, J. P. McFadden, and R. J. Strangeway (2003), Width and brightness of auroral arcs driven by inertial Alfvén waves, *J. Geophys. Res.*, 108(A2), 1091, doi:10.1029/2001JA007537.
2. Волков М. А. Двумерные структуры электрического поля в холодной ионосферно-ионосферной плазме. *Proceedings of the 38<sup>th</sup> Annual Seminar Physics of auroral phenomena, Apatity*, 2015, p. 48–51.
3. Волков М. А. Структуры дисперсионных альвеновских волн в неоднородной плазме. Труды 40<sup>го</sup> ежегодного семинара "Физика авроральных явлений", Апатиты 13–17 марта 2017, с. 42–45.
4. Сафаргалеев В. В., Осипенко С. В., Васильев А. Н. Пространственно-периодические дугообразные формы в области пульсирующих сияний. *Геомагнетизм и аэрономия*, 2000, т. 40, № 6, с. 38–45.

## Верификация электронной концентрации в D области ионосферы по модели IRI и установки частичных отражений

Гомонов А. Д., Юрик Р. Ю., Шаповалова Ю. А. (г. Мурманск, Полярный геофизический институт)

**Аннотация.** Представлены результаты сравнительного анализа экспериментальных данных измерений электронных концентраций в D-области ионосферы (диапазон высот от 60 км до 100 км) на радиофизическом полигоне Полярного геофизического института "Туманный" (69.0 с. ш., 35.7 в. д.) с модельными данными IRI-2016 для данного региона. Анализ проведен для условий вблизи весеннего равноденствия при низкой солнечной и спокойной геомагнитной активности в марте 2017 г. Анализ показал некоторое расхождение в суточной вариации электронной концентрации по эмпирическим данным и результатам наблюдений. На основании полученных результатов, предложены новые пути усовершенствования модели IRI-2016.

**Abstract.** The results of comparative analysis of experimental data of measurements of electron density in D-region of the ionosphere (altitude range from 60 km to 100 km) at the Polar geophysical Institute radiophysical site Tumanny (69.0 N., 35.7 E) with IRI-2016 model data for this region. The analysis was carried out for conditions near the vernal equinox at low solar and quiet geomagnetic activity in March 2017. The analysis showed some discrepancy in the daily variation of the electron concentration according to empirical data and observations. Based on the results obtained, new ways to improve the IR-2016 model are proposed.

**Ключевые слова:** ионосфера, моделирование, электронная концентрация.

**Keywords:** ionosphere, modeling, electron concentration.

### Введение

D-область ионосферы, охватывающая интервал высот 50–90 км, оказывает существенное влияние на распространение радиоволн СДВ-, ДВ-, СВ и КВ-диапазонов. В связи с этим возникает необходимость в определении основного ионосферного параметра – электронной концентрации  $N_e$  – в различных гелиогеофизических условиях. Для решения данной задачи можно создать теоретическую модель D-области, способную описать поведение ионосферы на заданных высотах или проводить электронных концентраций  $N_e$  [1, 2] разными методами. D-область ионосферы представляет существенные трудности для проведения прямых измерений ионосферных параметров в ней, так как, она слишком высока для наблюдений с самолетов и шаров-зондов, но слишком низка для спутников [3, 4]. Измерения параметров этой области

дают эпизодические запуски ракет, именно на основе их данных получена эмпирическая формула [5], используемая в широко известной модели IRI [6].

В Полярном геофизическом институте в режиме мониторинга на радиофизическом полигоне "Туманный" (69.0 с. ш., 35.7 в. д.) эксплуатируется радар частичных отражений, который позволяет определять электронную концентрацию в интервале высот от, примерно 50 км до 100 км методом частичных отражений.

В представленном исследовании проведен сопоставительный анализ суточных вариаций электронной концентрации по данным эмпирической модели и по результатам наблюдения радаром частичных отражений.

### **Результаты сравнительного анализа**

Модель IRI (The International Reference Ionosphere) – это совместный проект Committee on Space Research (COSPAR) и International Union of Radio Science (URSI), имеющий целью разработку и совершенствование международного стандарта для параметров ионосферы Земли [7]. Указанные организации сформировали рабочую группу в конце 60-х гг. для создания эмпирической модели ионосферы на основе всех доступных экспериментальных данных. Основными источниками данных для модели IRI являются глобальная сеть ионозондов, мощные радары некогерентного рассеяния (Jicamarca, Arecibo, Millstone Hill, Malvern, St. Santin), зонды ISIS и Alouette, а также точечные измерения с нескольких других спутников и ракет. Таким образом, IRI представляет собой синтез большинства наземных и космических измерений. Оригинальными файлами IRI владеет NASA's Space Physics Data Facility (SPDF) и Community Coordinate Modeling Center (CCMC), обновления принимаются в соответствии с решениями Рабочей группы (подробнее см. International Reference Ionosphere: [сайт]. URL: <http://irimodel.org/>).

Для заданного местоположения, времени и даты IRI предоставляет среднемесячные значения электронных и ионных плотностей, температур в диапазоне от 50 до 2 000 км. Дополнительно IRI рассчитывает полное электронное содержание (Total Electron Content, TEC), вероятность возникновения Spread-F, а также F1-области и экваториальный вертикальный дрейф ионов [6].

Международной организацией по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO) модель IRI рекомендована для представления параметров ионосферы и плазмосферы (стандарт ISO / TS 16457: 2014).

Программный пакет модели IRI включает подпрограммы FORTRAN, коэффициенты модели и файлы документации. Нами для модельных расчетов использованы откомпилированные фортран-файлы версии IRI-2016.

Отметим, что параметры ионосферы для D-области рассчитываются с использованием блока IRI1990, в основе которого эмпирическая формула, полученная по результатам ракетных измерений. Авторы модели указывают [8], что привлечение в рассмотрение данных по распространению радиоволн привели к нескольким, противоречащим друг другу, предложениям об изменении профиля электронной концентрации, и настаивают, что, поскольку полученные профили основаны на некоторых предположениях о частотах столкновений, с целью внесения изменений в модель необходимы дополнительные экспериментальные данные.

Для проведения измерений электронных концентраций  $N_e$  методом частичных отражений [9] в D-области был задействован средневолновый радиолокатор вертикального зондирования ионосферы ПГИ (табл. 1.), расположенный в п. Туманный Мурманской области (69.0 N, 35.7 E).

Таблица 1 – Технические характеристики СВ-радара

Передатчик	Приемник
Мощность передатчика в импульсе на частоте 2.6 МГц ~ 100 кВт	Чувствительность приемников – 0.5 мкВ
Длительность импульса равна – 15 мкс	Полоса пропускания – 50–60 кГц
Частота повторения излучений обыкновенной и необыкновенной волн – 1 Гц	Обзорный диапазон высот – 30–240 км Диапазон регистрации – любой в пределах обзорного
Задержка между импульсами этих волн – 275 мс	Шаг опроса по высоте – 0.5 км

Известно, что электронную концентрацию в области D можно получить с помощью измерений амплитуд обыкновенной и необыкновенной волн, рассеянных ионосферной плазмой, двумя способами: методом дифференциального поглощения и корреляционным методом.

В основе этих способов определения параметров плазмы лежит излучение двух волновых мод в виде чередующихся импульсов, отдельный прием сигналов, частично рассеянных неоднородностями в электронной концентрации и в частоте соударений, и измерение их амплитуд в зависимости от времени запаздывания, определяющего высоту отражения [3, 4].

Для сравнения данных измерений с модельными, выбирались дни со спокойной геомагнитной обстановкой (13, 14, 16–20, 24–26 марта 2017 г.) (рис. 1).

Как видно из графиков, в период с 13 по 26 марта *поток* солнечного радиоизлучения на волне 10.7 см (индекс  $F_{10.7}$ ) менялся незначительно, в преде-



лах 68.8–76.8 (в единицах  $10^{22}$  Вт/(м<sup>2</sup>·Гц)). Для указанного периода  $A_p$ -индекс варьировался от 1 до 24, что соответствует значениям  $K_p$  от 0+ до 4–.

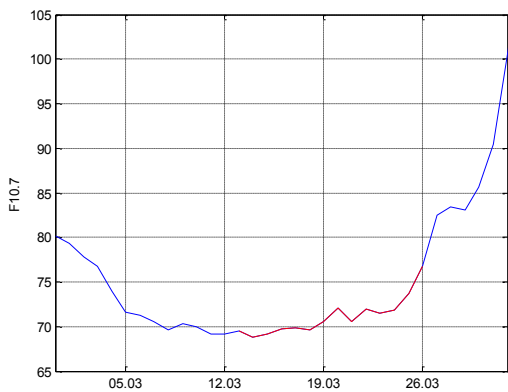


Рисунок 1, а – Индекс  $F_{10.7}$

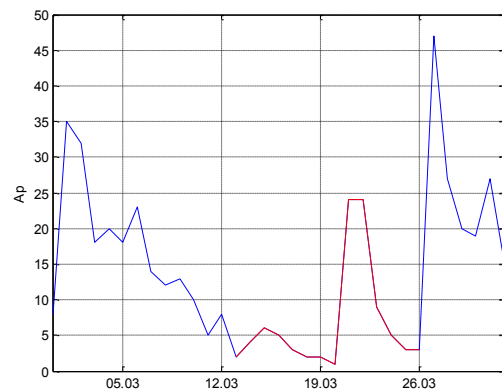
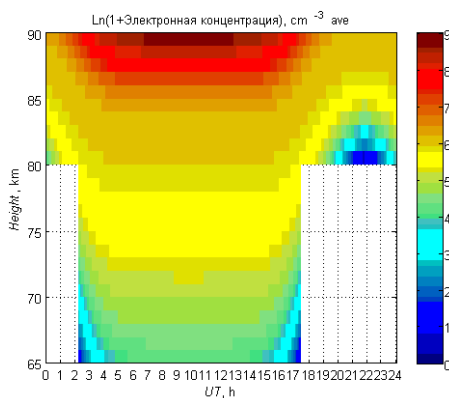
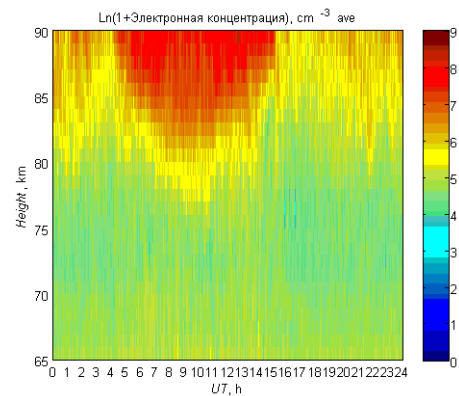


Рисунок 1, б –  $A_p$ -индекс

По выбранным дням проводилось сравнение данных измерений  $Ne(h)$  с результатами моделирования. В модели IRI-2016 задавались координаты радара частичных отражений. Данные параметров солнечной активности находились в базе данных модели. Было проведено сравнение усредненных данных измерений с модельными усредненными данными (рис. 2).



а) Модель IRI-2016



б) Данные измерений

Рисунок 2 – Осредненные данные по электронным концентрациям за 13, 14, 16–20, 24–26 марта 2017 г.

Из приведенных выше суточных вариаций видно, что модель IRI-2016 достаточно хорошо описывает профили электронных концентраций  $Ne(h)$  для дневных условий (10 UT) и значительно хуже для ночных (22 UT). Данное расхождение можно объяснить большими шумами в измерениях амплитуд необыкновенной  $A_x$  и обыкновенной  $A_o$  волн, и как следствие недостоверными значениями, полученными для электронных концентраций. Для

момента времени 10 UT в выбранные даты наблюдалось минимум шумов в измерениях, что позволяет считать электронные концентрации для данного времени наиболее достоверными, чем и объясняется их хорошее согласие с модельными данными.

Однако при расчете относительных ошибок измерений электронных концентраций  $Ne(h)$  с модельными данными везде, без исключения наблюдаются зона с большими относительными ошибками (границы области с высокими градиентами электронных концентраций  $Ne(h)$ ) (рис. 3). Данное несоответствие можно трактовать особенностями сглаживания модели IRI-2016 для оценки электронной концентрации в высокоширотной  $D$ -области. Очевидно, что данная модель должна быть скорректирована в областях с высокими градиентами электронных концентраций  $Ne(h)$ .

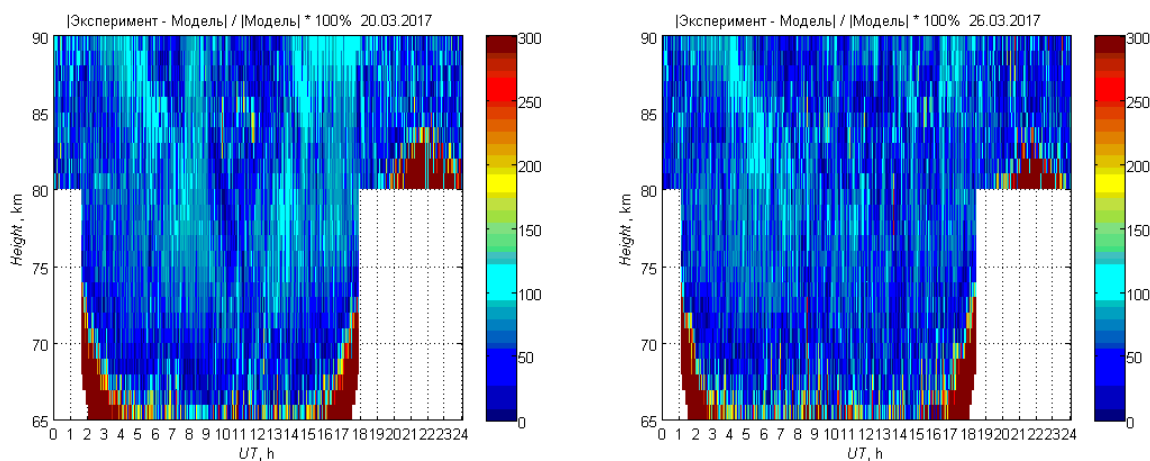


Рисунок 3 – Относительные ошибки для 20, 26 марта 2017 г.

### Заклучение

Выполнен сравнительный анализ суточных вариаций электронной концентрации в высокоширотной  $D$ -области ионосферы по эмпирической модели IRI-2016 и результатам наблюдений радаром частичных отражений на радиофизическом полигоне ПГИ "Туманный" для условий вблизи весеннего равноденствия и низкой солнечной и спокойной геомагнитной активностей.

Анализ показал заметные различия суточных вариаций электронной концентрации по данным эмпирической модели и результатам наблюдений, особенно в областях ее больших градиентов.

Результаты наблюдений электронной концентрации радаром частичных отражений в дальнейшем могут быть использованы для коррекции и модернизации эмпирических моделей нижней ионосферы для арктических широт.

### Библиографический список

1. Данилов А. Д., Смирнова Н. В. Уточнение модели ионного состава в международной справочной модели IRI // Геомагнетизм и аэрономия. – 1995. – Т. 35, № 1. – С. 80–88.
2. Кадухин Г. Ф., Соболева Т. Н. Эмпирическая модель высотно-суточных вариаций электронной концентрации в среднеширотной ионосфере на высотах 50–900 км в равноденственных условиях высокой солнечной активности. – В сб. Распространение радиоволн в ионосфере. – М.: Наука, 1978. – С. 137.
3. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. – М.: Наука, 1972. – 564 с.
4. Ратклифф Дж. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. – М.: Мир, 1975. – 296 с.
5. Mechtly E. A. and D. Bilitza Models of D-region electron concentrations, Institut fuer Physikalische Weltraumforschung, Report IPW-WBI, Freiburg, Federal Republic of Germany, 1974.
6. Bilitza D., D. Altadill, V. Truhlik, V. Shibin, I. Galkin, B. Reinisch, X. Huang International Reference Ionosphere 2016: From ionospheric climate to real-time weather predictions // Space Weather, 15, 418–429, doi:10.1002/2016SW001593. 2017.
7. Bilitza D., D. Altadill, Y. Zhang, C. Mertens, V. Truhlik, P. Richards, L.-A. McKinnell, and B. Reinisch The International Reference Ionosphere 2012–A model of international collaboration, J. Space Weather Space Clim., 4, 1–12, doi:10.1051/swsc/2014004. 2014
8. Bilitza D. (ed.) International Reference Ionosphere 1990, NSSDC 90-22, Greenbelt, Maryland, 1990.
9. Терещенко В. Д., Васильев Е. Б., Овчинников Н. А., Попов А. А. Средневолновый радиолокатор Полярного геофизического института для исследования нижней ионосферы. – В сб. Техника и методика геофизического эксперимента. – Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. – С. 37–46.

## Об эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера естественными магнитосферными СНЧ/ОНЧ излучениями

Никитенко А. С., Лебедь О. М., Ларченко А. В., Федоренко Ю. В.  
(г. Апатиты, Полярный Геофизический Институт)

**Аннотация.** При исследовании особенностей генерации и распространения естественных магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных наблюдений важно знать, как далеко от области выхода эти излучения могут распространяться в волноводе Земля-ионосфера. Для этого необходимо оценить затухание СНЧ/ОНЧ излучений при их распространении в волноводе. В данной работе произведена оценка эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера магнитосферным источником. Произведены расчеты отношения средней мощности магнитного поля на высоте 120 км к средней мощности на земной поверхности для частот СНЧ/ОНЧ диапазона.

**Abstract.** When studying the features of the generation and propagation of natural magnetospheric ENF / VLF emissions from ground-based observations, it is important to know how far from the output region these emissions can propagate in the Earth-ionosphere waveguide. It is necessary to estimate the attenuation of the ELF / VLF emissions during their propagation in the waveguide. In this paper, we estimate the excitation efficiency of the Earth-ionosphere waveguide by a magnetospheric source. The ratio of the average power of the magnetic field at an altitude of 120 kilometres to the average power on the earth's surface for the frequencies of the VLF / VLF range has been calculated.

**Ключевые слова:** волновод Земля-ионосфера, область выхода, ОНЧ излучения.

**Keywords:** Earth-ionosphere waveguide, exit point, VLF emissions.

### Введение

При исследовании особенностей генерации и распространения естественных магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений по данным наземных наблюдений особый интерес представляет положение в нижней ионосфере области выхода этих излучений. Информация о расположении области выхода важна при локализации магнитосферного источника СНЧ/ОНЧ излучений, исследовании связи возникновения излучений с динамикой полярных сияний, а также при исследовании общей динамики магнитосферы. Для решения подобных задач необходимо знать, насколько далеко от области выхода могут быть зарегистрированы и измерены эти излучения. Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо оценить затухание магнитосферных СНЧ/ОНЧ излучений при их распространении в волноводе Земля-ионосфера и, тем самым, оценить эффективность возбуждения волновода подобными излучениями.

## Модель

Для оценки эффективности возбуждения волновода Земля-ионосфера магнитосферными естественными СНЧ/ОНЧ излучениями проведено моделирование распространения этих излучений сквозь нижнюю ионосферу к земной поверхности. В данной работе ионосфера рассматривается как как плоско-слоистая, анизотропная, холодная плазма. Земная поверхность представлена как бесконечно проводящая плоскость, ориентированная параллельно плоскостям, в которых находятся ионосферные слои. Наклоном геомагнитного поля Земли в данной работе пренебрегаем и считаем поле вертикальным. Плоскости ионосферных слоев и, соответственно, земной поверхности параллельны плоскости  $Oxy$ , где  $O$  – начало координат. Ось  $Oz$  направлена вдоль вектора внешнего магнитного поля. Ионосферная плазма характеризуется профилем концентрации электронов  $N(z)$ , профилем частоты столкновений электронов с нейтралами  $\nu(z)$  и напряженностью внешнего магнитного поля  $H_0$ , обуславливающей анизотропию плазмы.

## Расчет мощности поля магнитосферного излучения

Область выхода естественных СНЧ/ОНЧ излучений представлена как полупрозрачный экран, расположенный в плоскости  $Oxy$  выбранной системы координат на высоте 120 км. Экран описывается двумерной гауссовой функцией пропускания [1]:

$$T(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2}{2a^2} - \frac{y^2}{2b^2}\right)$$

Здесь  $a$  —;  $b$ , — параметры, определяющие размеры функции  $T(x, y)$  и, соответственно, области выхода; оси функции  $x$  и  $y$ , соответствующие размерам  $a$  и  $b$ , параллельны осям  $Ox$  и  $Oy$  выбранной системы координат соответственно. На полупрозрачный экран падает набор плоских волн  $E_0 \exp(i(k_x x + k_y y - \omega t))$ , где  $E_0$  — их амплитуда,  $\phi_0$  — начальная фаза,  $k_x$ ,  $k_y$  — горизонтальные компоненты волновых нормалей,  $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$  — волновое число в свободном пространстве,  $\omega$  — круговая частота волны,  $c$  — скорость света в свободном пространстве,  $i$  — мнимая единица.

Электромагнитное поле за экраном есть произведение функции пропускания и выражения, описывающего поле падающего на экран излучения:

$$E(x, y, z) = T(x, y) E_0 \exp(i(k_x x + k_y y - \omega t))$$

Поле волны за экраном представим в пространстве волновых чисел с помощью преобразования Фурье:

–

Пользуясь предположением о том, что амплитуды плоских волн в конусе прохождения, который мал и составляет не более 3–5 градусов, практически не зависят от их горизонтальных волновых чисел, усредним по  $k_x$ ,  $k_y$ . Зададим плотность распределения падающих на экран плоских волн по волновым нормалям в виде нормального распределения:

\_\_\_\_\_ – \_\_\_\_\_

Параметры  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  – дисперсия распределения.

После усреднения:

===== – \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Поиск решения волнового уравнения для каждой единичной плоской волны с горизонтальными компонентами  $k_x$  и  $k_y$  у бесконечно проводящей земной поверхности производился с помощью так называемого full-wave метода [2]. Обозначим это решение как  $H_n$ . Поскольку в данной работе земная поверхность представлена как бесконечно проводящая плоскость, поле волны у земной поверхности определяется двумя горизонтальными магнитными компонентами  $H_x$ ,  $H_y$  и вертикальной электрической  $E_z$ . Решение волнового уравнения можно записать:

Спектр компонент поля у земной поверхности с учетом экрана и плотности распределения вероятности падающих на экран из магнитосферы плоских волн:

Для упрощения записи будем далее рассматривать одну компоненту поля, полученную численным решением волнового уравнения, например  $E_x$ . Компонента поля в физическом пространстве определяется обратным преобразованием Фурье:

—

Так как не существует аналитического выражения для  $E_x$ , этот интеграл приходится брать численно. Обозначим:

—

Вычислим средний квадрат модуля величины  $E_x$ :

Средний квадрат модуля компоненты  $E_x$  определяется аналогично.

### Результаты

На верхней панели рис. 2 представлены результаты расчетов средней мощности магнитного поля вблизи земной поверхности, рассчитанные с учетом отражений от нижней ионосферы и без их учета для частот 1 600 Гц (а), 2 600 Гц (б) и 4 600 Гц (с). На нижней панели рис. 2 представлены расчеты отношения мощности излучений на высоте 120 км к их средней мощности на земной поверхности для этих частот. При моделировании использовались профили концентрации электронов, соответствующие ночной и дневной ионосфере, и профиль частоты столкновений электронов с нейтралами, представленные на рис. 1. Область выхода была задана гауссовой функцией с параметрами  $\mu = 100$  м. Значения дисперсий  $\sigma = 10$  м, плотности распределения плоских волн, формирующих падающее излучение, подбирались равными значению конуса прохождения для частот, использованных при моделировании. Согласно результатам моделирования, ниже частоты

поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера, которая составляет примерно 2 000 Гц для выбранных профилей концентрации электронов, наблюдаются плохие условия для установления модового распространения. На частоте 1 600 Гц для дневной ионосферы при учете отражений среднеквадратичное значение мощности магнитного поля на земной поверхности меньше значения мощности без учета на 10–20 дБ в зависимости от расстояния от проекции точки максимума функции на земную поверхность (рис. 2, а). В условиях ночной ионосферы это значение несколько ниже и составляет примерно 5–15 дБ. На частотах выше частоты поперечного резонанса эффективность возбуждения волновода СНЧ/ОНЧ излучениями увеличивается. На частоте 2 600 Гц среднеквадратичное значение мощности магнитного поля, рассчитанное при учете столкновений, превышает среднеквадратичное значение мощности магнитного поля без учета отражения вплоть до 10 дБ (рис 2, b). При распространении в волноводе волн выше удвоенной частоты поперечного резонанса наблюдается выраженная интерференция волноводных мод. При учете отражений от ионосферы среднеквадратичное значение мощности магнитного поля может превышать мощность, рассчитанную без учета отражений, примерно на 15–20 дБ (рис. 2, с).

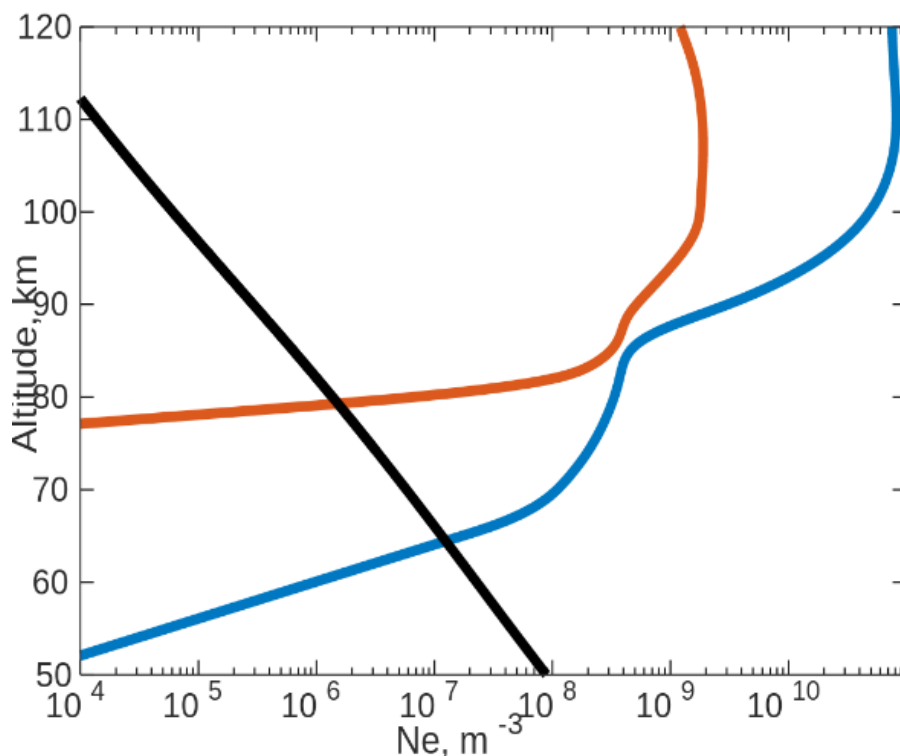


Рисунок 1 – Профили концентрации электронов (красная кривая – день, синяя – ночь), использованные при моделировании. Профиль частоты столкновений (черная кривая)



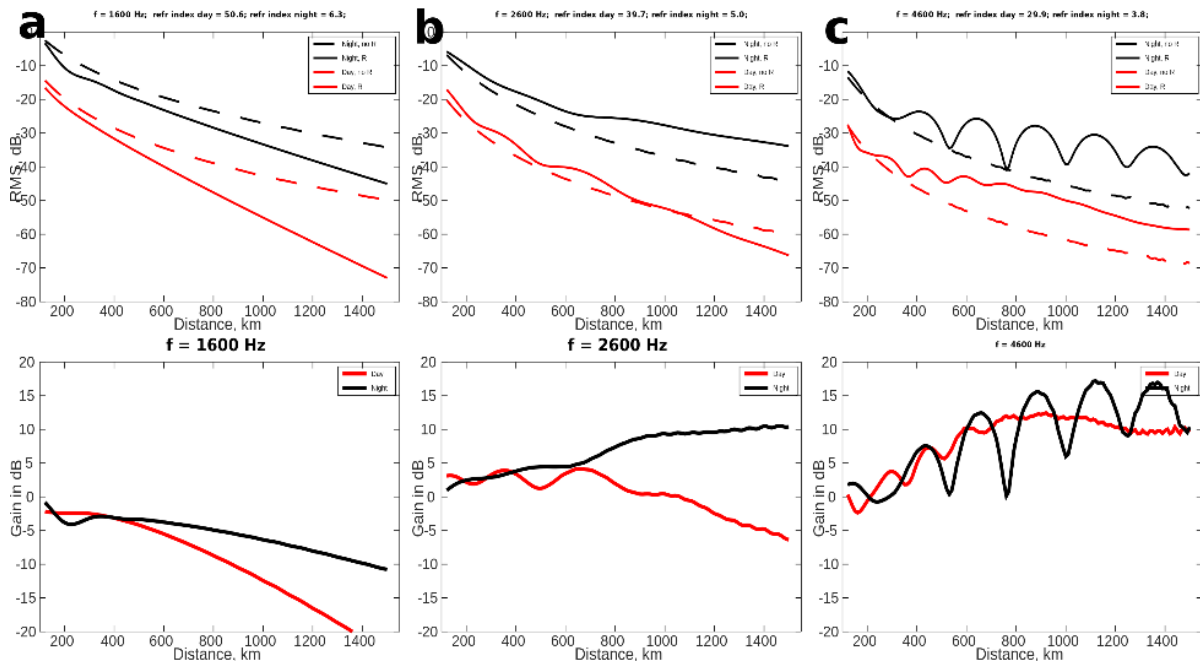


Рисунок 2 – Снизу – отношение средней мощности ОНЧ поля на высоте 120 км к его средней мощности на земной поверхности с учетом и без учета отражений от ионосферы для условий дневной (красным цветом) и ночной (черным) ионосфер для частот 1600 Гц (а), 2600 Гц (б), 4600 Гц (с). Сверху – средняя мощность магнитного поля ОНЧ поля на земной поверхности для дневной (красным цветом) и ночной (черным) ионосфер, рассчитанная с учетом (сплошные линии) и без учета (пунктирные) отражений от ионосферы для тех же частот

## Выводы

Предложен метод расчета компонент электромагнитного поля на земной поверхности от суперпозиции случайных плоских волн. Расчеты отношения средней мощности магнитного поля на высоте 120 км к средней мощности на земной поверхности для частот СНЧ/ОНЧ диапазона показали, что наиболее благоприятные условия для установления волноводных мод наблюдаются при ночных ионосферных условиях. При дневных условиях затухание выше и среднеквадратичное значение мощности магнитного поля меньше на 15–30 дБ этой величины, рассчитанной для условий ночной ионосферы. На частотах выше удвоенной частоты поперечного резонанса волновода Земля-ионосфера наблюдается выраженная интерференция мод. Расчеты средней мощности поля на земной поверхности с учетом отражений от ионосферы и без учета отражений показали, что выигрыш в результате волноводного распространения может быть вплоть до 15–20 дБ.

### **Библиографический список**

1. Nagano I., Mambo M., Shimbo T., Kimura I., 1986. Intensity and polarization characteristics along the earth's surface for the ELF/VLF waves emitted from a transmission cone in the high latitude. Mem. Natl. Inst. Polar Res. Spec. Issue 42. 34–44.
2. Lehtinen N. G., Inan U.S., 2008. Radiation of ELF/VLF waves by harmonically varying currents into a stratified ionosphere with application to radiation by a modulated electrojet. J. Geophys. Res., 113, 6301–6308.

## Корреляция между направлением дрейфа и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в ионосфере над Москвой

Романова Н. Ю.<sup>1</sup>, Панченко В. А.<sup>2</sup> Телегин В. А.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>г. Мурманск, Полярный геофизический институт, <sup>2</sup>г. Москва, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН) им. Н.В. Пушкова РАН)

**Аннотация.** Проведено численное сравнение экспериментальных данных, полученных в F-области ионосферы над Московским регионом. Используются данные, полученные в январе 2015 г. Сравнение проводилось между направлением дрейфа (ионозонд DPS-4, установленный в ИЗМИРАН), и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных (несколько сот метров) неоднородностей электронной плотности (радиотомографический приемник, созданный в Полярном геофизическом институте, установленный в МГУ). Получено хорошее согласие между экспериментальными данными. В ряде случаев различные значения ориентации поперечной анизотропии соответствовали изменению в направлении дрейфа.

**Abstract.** Numerical comparison of the experimental data obtained in the ionosphere F-region over the Moscow region is made. The data obtained in January, 2015 are used. Comparison was carried out between the drift direction (ionosonde DPS-4 established in IZMIRAN) and orientation of the cross-field anisotropy of small-scale irregularities (several hundreds of meters) of electronic density (the radiotomographic receiver created at Polar geophysical institute, installed in MSU). Good agreement between experimental data is received. In some cases various of orientation of the cross-field anisotropy corresponded to change in the drift direction.

**Ключевые слова:** ионосферные неоднородности, ионозонд, радиотомография.

**Key words:** ionosphere irregularities, ionosonde, radiotomography.

### Введение

Методом радиозондирования и последующей математической обработки радиосигнала [1], разработанными в Полярном геофизическом институте, можно исследовать мелкомасштабные неоднородности электронной плотности в F-области ионосферы с пространственными размерами от нескольких сотен метров до нескольких километров поперёк магнитного поля. Неоднородности анизотропны, т. е. вытянуты преимущественно вдоль геомагнитного поля (ось  $\alpha$  – продольная ось анизотропии) и менее вытянуты в направлении поперёк геомагнитного поля (ось  $\beta$  – поперечная ось анизотропии). Соотношение осей:  $\alpha > \beta$ . При различных геофизических условиях поперечная анизотропия (ось  $\beta$ ) как в высоких широтах [2], так и в средних [3] имеет различную ориентацию (угол  $\Psi_A$ ) относительно направления на географический север. В работах [2, 3] показано, что причиной поперечной ани-

зотропии неоднородностей (а следовательно, различной ориентацией поперечной анизотропии  $\Psi_A$ ) в первом случае был дрейф плазмы  $E \times B$ , во втором случае – горизонтальный нейтральный ветер.

В данной работе исследуются мелкомасштабные неоднородности в F-области ионосферы над г. Москва. Экспериментальные данные об ориентации поперечной анизотропии  $\Psi_A$  будут сопоставлены с направлением дрейфа  $\Psi_D$  крупномасштабных неоднородностей по данным ионозонда DPS-4, полученными в ближайшее время.

**Наблюдения.** В период января 2015 г. было рассмотрено 13 случаев, когда, с одной стороны, можно было определить параметры мелкомасштабных неоднородностей  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\Psi_A$  и, с другой стороны, можно было определить направление и скорость дрейфа крупномасштабных неоднородностей.

Опишем кратко суть метода определения дрейфа. Измерение скорости дрейфа ионосферных крупномасштабных неоднородностей ионозондами DPS-4 базируется на возможности измерять доплеровские сдвиги (т. е. радиальные скорости перемещения) и угловое расположение на "карте неба" отдельных ионосферных неоднородностей. Если выбрать из всей совокупности неоднородностей три не совпадающих между собой, то предполагая, что у них один и тот же вектор скорости, можно записать несложную систему уравнений используя их угловое положение и их доплеровские сдвиги и решив эту систему получить этот вектор скорости. Выбирая всевозможные подобные "тройки" получим массив векторов скорости в геомагнитных или географических координатах. На ионозонде DPS-4 этот алгоритм реализован автоматически. Если неоднородностей много (сотни или тысячи), то можно оценить средние значения скорости и дисперсию скоростей, определяющую точность измерений. Удовлетворительными можно считать измерения, где средние значения скоростей в 3-5 раз превышают среднеквадратичные отклонения. DPS-4 позволяет получать зависимости трех проекций скоростей движения неоднородностей от времени. В дневные часы, когда ионосферное рассеяние меньше (меньше число неоднородностей на "картах неба" и узок занимаемый ими конус вокруг зенита), точность измерения скоростей хуже. В ночных условиях, когда неоднородностей на "картах неба" сотни или тысячи, точность измерения скоростей повышается.

Опишем кратко суть метода определения параметров мелкомасштабных неоднородностей (подробно метод описан в работе [1]). Наземным приемником в течение 18 мин нахождения спутника в зоне радиовидимости записывается радиосигнал, который искажается при прохождении через F-слой ионо-

сферы, содержащий мелкомасштабные неоднородности. Если рассчитать дисперсию логарифма относительной амплитуды радиосигнала и представить её графически, то в участке наибольшей концентрации неоднородностей искаженный радиосигнал имеет вид максимума, в несколько раз превышающий уровень фона. Это означает, что в области пространства, занимаемой максимумом, можно определить пространственные параметры неоднородностей:  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\Psi_A$ . Их можно определить, если аппроксимировать экспериментальный максимум аналогичным теоретическим максимумом – моделью мелкомасштабных неоднородностей. Аппроксимация происходит путем подбора численных значений  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\Psi_A$ . Ширина теоретического максимума зависит от величин  $\alpha$  и  $\beta$ . Пространственное положение теоретического максимума зависит от величины  $\Psi_A$  и в большинстве случаев определяется с точностью 2–3°. Продемонстрируем метод определения параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\Psi_A$  наглядно, где будет также показано, что ориентация поперечной анизотропии  $\Psi_A$  коррелирует с направлением дрейфа  $\Psi_D$  в различных геофизических ситуациях: при стационарном и нестационарном направлении дрейфа.

Рассмотрим ситуацию, когда направление дрейфа было стационарным во время каждого из двух спутниковых сеансов, временной интервал между которыми составил около 20 мин (рис. 1 а, б). Такие спутниковые сеансы считаются "близкими", они удобны для демонстрации быстротекущих процессов в ионосфере, например, изменение или неизменность направления дрейфа.

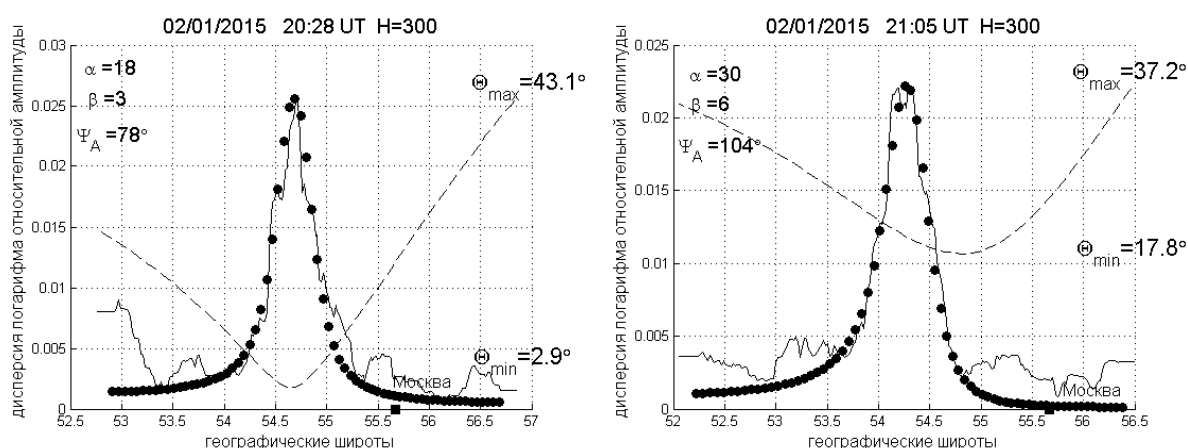


Рисунок 1 – Экспериментальные графики дисперсии логарифма относительной амплитуды спутникового сигнала (тонкая кривая), в которых присутствует только один изолированный максимум. Аппроксимация теоретическим максимумом (черные кружки) каждого экспериментального максимума позволяет определить параметры неоднородностей (в левом верхнем углу каждого рисунка). Пунктиром показан график углов спутника с магнитным полем относительно наблюдателя в Москве

В каждом экспериментальном графике присутствует единственный максимум, превышающий уровень фона в несколько раз, что свидетельствует о присутствии мелкомасштабных неоднородностей в пространственной области, охватываемой максимумом. В спутниковом сеансе с началом в 20:28 UT  $\Psi_A = 78^\circ$ , а в сеансе с началом в 21:05 UT  $\Psi_A = 104^\circ$ . Поскольку  $\beta$  – ось поперечной анизотропии (как мы писали в введении), то при необходимости к текущим значениям можно прибавить  $180^\circ$ . Поэтому для рис.1а  $\Psi_A = 258^\circ$ , а для рис. 1, б  $\Psi_A = 284^\circ$ . Очевидно, что ориентация поперечной анизотропии  $\Psi_A$  изменилась на несколько десятков градусов, чему должно быть объяснение. Сопоставление с направлением дрейфа, полученном ионозондом DPS-4 в аналогичные моменты времени, показало, что направление дрейфа имело значения  $\Psi_D = 263^\circ$  (для сеанса на рис. 1, а) и  $\Psi_D = 278^\circ$  (для сеанса на рис. 1, б). В обоих случаях скорость дрейфа превышала 100 м/с, что на наш взгляд обеспечило хорошее согласие экспериментальных данных. "Близкие сеансы" демонстрируют корреляцию величин  $\Psi_A$  и  $\Psi_D$ : изменение направления дрейфа  $\Psi_D$  привело к аналогичному изменению ориентации поперечной анизотропии  $\Psi_A$ , что также может быть обусловлено высокой скоростью дрейфа.

Рассмотрим другую ситуацию: направление дрейфа менялось в течение одного спутникового сеанса (рис. 2).

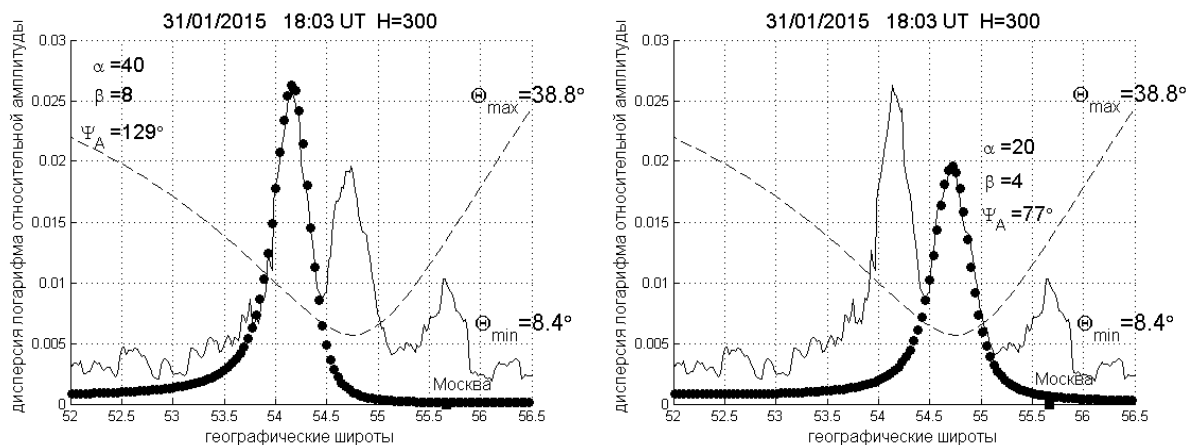


Рисунок 2 – В графике дисперсии логарифма относительной амплитуды присутствуют два максимума. Условные обозначения те же, что на рис. 1

В экспериментальном графике присутствуют два максимума различной величины, превышающие уровень фона, поэтому каждый максимум будет проанализирован индивидуально. Присутствие двух максимумов в графике во время одного спутникового сеанса подробно рассмотрено в работе [4], посвященной исследованию мелкомасштабных неоднородностей высоких

широт (арх. Шпицберген). В работе [4] несколько максимумом являлись показателем изменения направления дрейфа в полярной шапке в пространстве или во времени. Метод [1] предполагает постоянство параметров мелкомасштабных неоднородностей только в области, охватываемой одним максимумом, поэтому в данном примере каждый экспериментальный максимум аппроксимирован индивидуально. Для рис. 1, а  $\Psi_A = 129^\circ (\equiv 309^\circ)$ , а для рис. 1, б  $\Psi_A = 77^\circ (\equiv 257^\circ)$ . Очевидно, что ориентация поперечной анизотропии  $\Psi_A$  не просто менялась на протяжении спутникового сеанса, а в различных пространственных областях присутствуют неоднородности с различными параметрами, чему должно быть объяснение. Сопоставление с направлением дрейфа, полученном ионозондом DPS-4 на протяжении всего спутникового сеанса, показало, что направление дрейфа изменялось от  $\Psi_D = 265^\circ$  до  $\Psi_D = 280^\circ$  при скорости дрейфа 28 м/с ( $\pm 9$  м/с). Это не очень существенное изменение, величина  $\Psi_D$  находится в интервале величин  $\Psi_{A1}$  и  $\Psi_{A2}$ , что свидетельствует о согласии между экспериментальными данными, полученными разными методами. Наличие в графике двух максимумов, вероятно, связано с малой скоростью дрейфа. Вероятно также влияние нейтрального ветра, но это исследование только планируется.

В трех случаях из 13 различие между направлением дрейфа  $\Psi_D$  и ориентацией поперечной анизотропии  $\Psi_A$  было велико. Пример приведен на рис. 3.

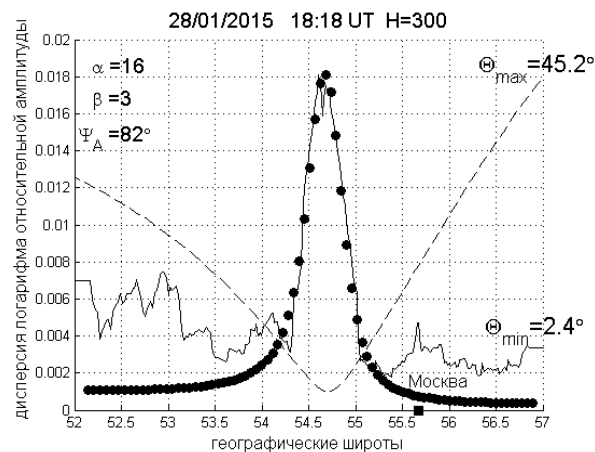


Рисунок 3 – Единичный максимум в графике дисперсии логарифма относительной амплитуды. Условные обозначения те же, что на рис. 1

На рис. 3 приведен пример наблюдения изолированного максимума в широтном профиле графика дисперсии логарифма относительной амплитуды спутникового сигнала. Величина ориентации поперечной анизотропии  $\Psi_A = 82^\circ (\equiv 262^\circ)$ . По данным ионозонда направление дрейфа составляло  $\Psi_D = 214^\circ$  при скорости дрейфа 54 м/с ( $\pm 7$  м/с) и существенно не изменялось

на протяжении спутникового сеанса. В данном примере различие между экспериментальными данными  $\Psi_A - \Psi_D$  составляет  $48^\circ$ , что больше, чем ожидалось, поскольку условия для лучшего согласия экспериментальных данных есть: стационарное направление дрейфа; максимум единственный, в несколько раз превышает уровень фона, спутник двигался близко относительно наблюдателя ( $\Theta = 2.4^\circ$ ), что позволяет определить величину  $\Psi_A$  достаточно точно. Подобные случаи требуют более детального исследования, которое планируется.

### **Заключение**

В январе 2015 г. методом радиозондирования были исследованы мелкомасштабные неоднородности электронной плотности в F-области ионосферы над г. Москва в ночное время в спокойных геомагнитных условиях. В 13 случаях была численно определена ориентация поперечной анизотропии  $\Psi_A$  неоднородностей и сопоставлена с направлением дрейфа плазмы  $\Psi_D$  по данным ионозонда DPS-4 в ближайшее время для каждого случая. По результатам сопоставления установлено хорошее согласие между этими экспериментальными данными. То есть, в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, мелкомасштабные неоднородности вытянуты вдоль направления дрейфа.

### **Благодарность**

Авторы благодарят сотрудников лаборатории радиопросвечивания Полярного геофизического института за проведение экспериментальных работ.

### **Библиографический список**

1. Tereshchenko E. D., Khudukon B. Z., Kozlova M. O., Nygren T. Anisotropy of ionospheric irregularities determined from the amplitude of satellite signals at a single receiver // *Ann. Geophysicae.* – 1999. – V. 17. – P. 508–518.
2. Козлова М. О. Исследование неоднородностей километрового масштаба в F-области высокоширотной ионосферы по данным о мерцаниях спутниковых радиосигналов: Дис. канд. физ.-мат. наук: 25.00.29. – М., 2002. – 120 с.
3. Романова Н. Ю. Взаимосвязь между направлением горизонтального ветра и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы // *Геомагнетизм и Аэронавтика.* – 2017. – Т. 57. № 4. – С. 463–471.
4. Tereshchenko E. D., Romanova N. Yu., Koustov A. V. VHF scintillations, orientation of the anisotropy of F-region irregularities and direction of plasma convection in the polar cap // *Ann. Geophysicae.* – 2008. – V. 26. № 7. – P. 1725–730.



**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ**

## Использование систем вакуумной канализации при строительстве в Арктической зоне

**Васильева Ж. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра техносферной безопасности)

**Аннотация.** В данной статье приведен сравнительный анализ технологий вытапливания и ферментативного гидролиза липидсодержащих рыбных отходов с получением липидных комплексов на основе рыбного жира.

**Abstract.** This article presents a comparative analysis of technologies of melting and enzymatic hydrolysis of lipid-containing fish waste with the production of lipid complexes based on fish oil.

**Ключевые слова:** вакуумная канализация, строительство, Арктическая зона.

**Key words:** vacuum sewerage, construction, Arctic zone.

Об интересном опыте использования систем вакуумной канализации широкий круг отечественных специалистов узнал впервые из монографии Мочалова И. П. и др. [1], изданной в 1991 г.

В настоящее время опыт использования таких систем по-прежнему является актуальным в свете роста числа проектов строительства поселений в условиях Арктической зоны для обеспечения развития и реализации программ "Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г." [2] и "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации"[3].

Системы вакуумной канализации широко используются при строительстве поселений на севере Американского континента. При этом нужно отметить, что в целом в Канаде и Аляске при строительстве на вечномерзлых грунтах широко применялся успешный советский опыт, однако, существуют некоторые особенности строительства систем водоотведения на Североамериканском континенте, которые могли бы быть полезны для использования в нашей стране. Одной из таких специфических особенностей является использование вакуумных систем водоотведения.

При вакуумной системе сточные воды движутся с большой скоростью в трубах малого диаметра, разделенными воздушными промежутками в виде пробок [1]. Разность давлений и обеспечение работы системы обусловлено наличием следующих составляющих: самотечная канализация дома, нако-

питательные емкости сборных камер, блок вакуумных насосов, являющихся переходным звеном от канализации дома к непосредственно вакуумной системе, магистральная система, находящаяся под отрицательным давлением, и, наконец, очистные сооружения.

Проектирование и сооружение вакуумных систем в северных регионах в целом аналогичны осуществляемым в регионах умеренного климата, однако, существуют некоторые важные отличия. Из-за длительного периода низких температур важными становятся выбор материалов, предотвращение потерь тепла, методы защиты от замерзания и обеспечение надежности системы.

В частности, для строительства применяются, так называемые, арктические трубы. Арктическая труба состоит из внутреннего сердечника трубы, изолирующего слоя и внешнего защитного слоя. Внутренний сердечник, как правило, выполнен из полиэтилена высокой плотности ввиду того, что тот имеет возможность восстанавливаться в случае необходимости без повреждений после повторных циклов замораживания и оттаивания. Арктические трубы могут изготавливаться по различным требованиям, установленным соответствующими федеральными и государственными органами Канады и США. Изоляция между внутренней трубой и наружной оболочкой должна отличаться низкой плотностью и зачастую выполняется из пеноуретана. Наружное покрытие может выполняться из различных материалов, включая полиэтилен высокого давления или в виде рифленой металлической трубы.

Другой особенностью строительства систем водоотведения на Аляске и Канаде является использование, так называемых, утилидоров. Утилидоры – это каналы различной конструкции, предназначенные для прокладки инженерных сетей в целях эффективной защиты от замерзания и удобства обслуживания. Утилидоры различаются по размерам, материалам, из которых они изготовлены и способам прокладки (наземные, подземные, приподнятые).

Вакуумные системы канализации имеют ряд существенных преимуществ в районах с холодным климатом. Во-первых, сводится к минимуму потребность в использовании воды для смыва и транспортирования отходов. Одновременно, отсутствие или минимальное количество воды в системе снижает риск замораживания воды, в случае отказа систем подогрева или поддержания положительной температуры трубопровода. При этом широко практикуется совместная прокладка трубопроводов наружных систем вакуумной

канализации и водопровода, вследствие отсутствия вероятности протечек в вакуумных системах. Таким образом, тепло циркулирующей воды дополнительно минимизирует риск замораживания канализационной трубы. Все это может обеспечить значительную экономию затрат для прокладки сети на обслуживание дома, в которой, например, присутствует 1-дюймовая линия водопровода и 2-дюймовый трубопровод вакуумной канализации, расположенные в общей изолированной несущей трубе.

Вакуумные системы могут обеспечивать транспортировку сточных вод по трубопроводам, уложенным горизонтально или даже с некоторым подъемом, что является актуальной возможностью для многочисленных населенных пунктов, расположенных вдоль рек или прибрежных районах с плоским рельефом. При установке самотечной канализации требуются в этом случае многочисленные насосные станции или проведение земляных работ, что не всегда осуществимо в условиях вечной мерзлоты.

Вакуумные системы канализации также облегчают проблемы с трудно-предсказуемым ростом населения и могут быть продлены на значительное расстояние, при сохранении основной принимающей емкости. Одна центральная вакуумная станция заменяет большое количество насосных станций и может использовать большое количество направлений вакуумной перекачки.

К недостаткам вакуумных систем водоотведения можно отнести высокие капитальные затраты на строительство, относительно сложное управление, потребность в квалифицированных и обученных операторов, поддержание работоспособности насосов и клапанов, в том числе путем регулярной (через 3–5 лет) замены уплотнителей санитарно-технических приборов, определенный расход электроэнергии для постоянного поддержания вакуума в сетях.

Указанные недостатки и достоинства вакуумных систем водоотведения должны оцениваться применительно к конкретным задачам, условиям и ограничениям строительства населенных пунктов в условиях Севера для принятия обоснованных решений об их применимости и целесообразности.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что системы вакуумной канализации могут служить альтернативой классическим канализационным сетям, обеспечивая необходимый уровень жизни населения в тяжелых условиях Арктической зоны, что, в свою очередь, является актуальной задачей, поставленной в рамках реализации Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации.

### Библиографический список

1. Мочалов И. П. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных мест (в условиях Крайнего Севера) / И. П. Мочалов, И. Д. Родзиллер, Е. Г. Жук. – Л. : Стройиздат : Ленингр. отд-ние, 1991. – 158 с.

2. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. (утв. Президентом РФ 10 июля 2018 г.) [Электронный ресурс] / URL: [http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf/](http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf) (дата обращения: 11.02.2018)

3. Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации [Электронный ресурс] / URL: [http://static.government.ru/media/files/GGu3GTtv8bvV8gZxSEAS1R7XmzloK6ar.pdf/](http://static.government.ru/media/files/GGu3GTtv8bvV8gZxSEAS1R7XmzloK6ar.pdf) (дата обращения: 11.02.2018).

## Оценка качества воды из родника в пгт. Мурмаши в период с 2015 по 2018 гг.

Глазова В. А., Федорова О. А, Гапоненков И. А. (г. Мурманск, ФГБОУ "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** В статье указана актуальность исследования качества воды нецентрализованных источников водоснабжения. Представлены количественные результаты оценки качества воды родника пгт. Мурмаши за последние 3 года, на основании которых определена формула Курлова. Сделаны выводы, обуславливающие низкое качество воды нецентрализованных источников водоснабжения.

**Abstract.** The article describes the relevance of the study of water quality of centralized water supply sources. Presents an assessment of water quality in the spring for 3 years. The findings that lead to poor water quality of centralized water supply sources.

**Ключевые слова:** гидрохимический анализ, родники, питьевая вода.

**Key words:** hydrochemical analysis, springs, drinking water.

Доступность и качество питьевой воды определяют здоровье нации и качество жизни. Сегодня каждый второй житель России вынужден использовать для питьевых целей воду ненадлежащего качества, не соответствующую по ряду показателей санитарно-гигиеническим требованиям. Пятая часть населения, живущая в сельской местности, вообще не имеет доступа к централизованным источникам водоснабжения, и для обеспечения технических, хозяйственно-бытовых и питьевых нужд используют подземные воды из дозаборных скважин. Однако не всегда такая вода соответствует нормативам качества.

Высокая обеспеченность регионов Севера водными ресурсами до последнего времени не вызывала тревогу об их состоянии. Вместе с тем, интенсивное освоение богатых месторождений полезных ископаемых и трансграничные переносы загрязняющих веществ в Арктике приводят к быстрому нарушению хрупкого экологического равновесия уже во многих урбанизированных районах, что стремительно ведет к качественному истощению водных ресурсов в промышленных городах и поселках этого региона. Анализ имеющихся научных материалов по оценке качества подземных вод Арктического бассейна выявил низкую степень изученности этого региона [1].

Мониторинг качества вод в Российской Арктике, как правило, осуществляется на водных объектах – приемниках сточных вод (в локальных зонах загрязнения), концентрируется на измерении содержания отдельных компо-

нентов загрязнения без учета всего комплекса физико-химических и биологических процессов, протекающих в водных объектах Севера.

В общей проблеме охраны вод заметное место отводится защите от загрязнения и истощения важнейшего ее компонента – подземных вод, как одного из видов природных ресурсов, являющихся источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения. Загрязнение подземных вод могло бы являться одним из важных показателей экологического состояния Арктического бассейна. Однако данные о состоянии подземных вод Севера достаточно ограничены, поскольку основная часть водоснабжения городов и поселков Севера осуществляется из поверхностных водоисточников [2].

Оценка загрязнения подземных вод для вод питьевого назначения проводится в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества" [3], ГН 2.1.5.1315-03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования" и ГН 2.1.5.2307-07 "Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования".

В период с февраля 2015 г. по февраль 2018 г. научно-исследовательской группой кафедры экологии, инженерных систем и техносферной безопасности ФГБОУ ВО "МГТУ" в рамках ГБ НИР выполнения инициативных научно-исследовательских работ "Исследование состояния источников нецентрализованного водоснабжения МО Мурманск" (№ ГР 115032620028) и "Мониторинг качества родниковых вод г. Мурманска и его пригорода" (№ГР АААА-А17-117013110208-5) проводились исследования качества родниковой воды в 15 родниках, расположенных в городе Мурманск и пригороде. Одним из самых популярных родников является родник в пгт. Мурмаши (рис. 1). Данный родник расположен в непосредственной близости к жилому массиву поселка Родник расположен в пгт. Мурмаши за домом № 37 по ул. Советской, а также обладает стабильным достаточно объемным расходом воды, что обуславливает его популярность (рис. 1).

В табл. 1 представлены сводные данные о результатах исследований качества воды родника в пгт. Мурмаши. Родник расположен в пгт. Мурмаши за домом № 37 по ул. Советской. Изучение и оценка качества воды из родника проводилась в соответствии с СанПиН 2.1.4.1175-02 "Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитар-

ная охрана источников" по следующим показателям: запах, цветность, рН, хлориды, фосфаты, нитриты, нитраты, перманганатная окисляемость, общая щелочность, сульфаты, жесткость и общее железо, кальций, сухой остаток.



Рисунок 1 – Родник в пгт. Мурмаши

Показатель "запах" в пробах воды отсутствовал на протяжении всего периода проведения исследований. Показатель "цветность" изменялся в диапазоне от 0 до 26 градусов. Водородный показатель за весь контролируемый период претерпевал значительные изменения от 6,77 до 8,72 единиц.

Показатели хлориды, нитрит-ионы, нитрат-ионы, фосфат-ионы, сульфаты, перманганатная окисляемость, общая щелочность и жесткость воды за весь период исследования были намного ниже установленных для них нормативов. Показатель "общее железо" в период с февраля по май 2015 г. значительно превышал ПДК, в остальной период исследований находился в пределах норматива (рис. 2).

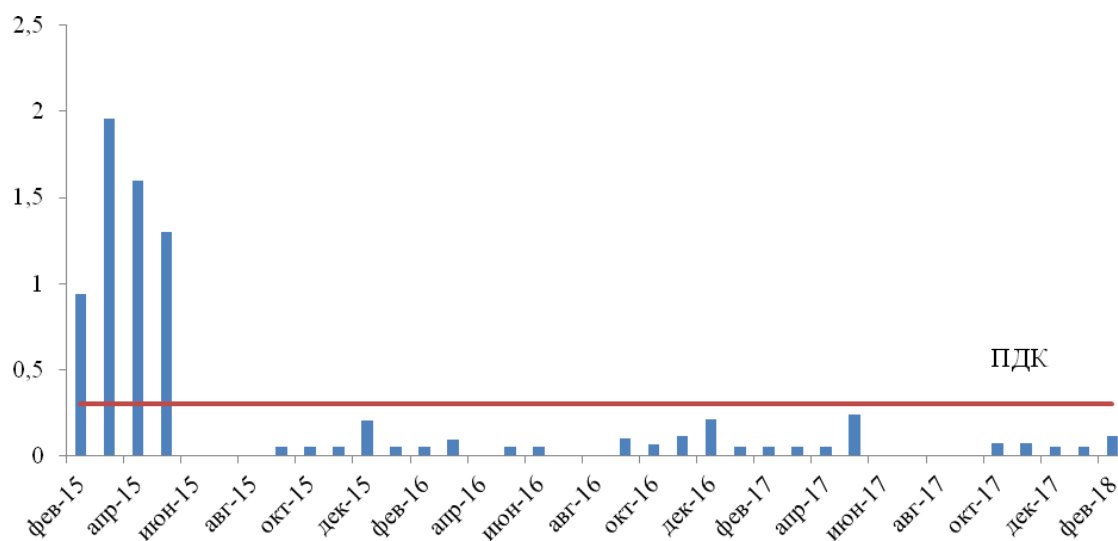


Рисунок 2 – Изменение показателя "общее железо" в пробах воды из родника пгт. Мурмаши



Международная научно-практическая конференция  
"Наука и образование в Арктическом регионе"

Таблица 1 – Изменение концентраций загрязняющих веществ в воде родника пгт. Мурмаши в период с 2015 по 2018 гг.

Наименование показателя качества	1	Февраль 2015	Март 2015	Апрель 2015	Май 2015	Сентябрь 2015	Октябрь 2015	Ноябрь 2015	Декабрь 2015	Январь 2016	Февраль 2016	Март 2016	Апрель 2016	Май 2016
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Запах, баллы	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Цветность, градусы	4	0	0	5	5	7	8	10	26	4	0	5	0	2
рН, единицы	5	7,94	8,06	6,97	7,05	7,7	7,49	7,88	7,5	8,72	7,84	7,5	6,77	7,93
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	6	12	15	11	14	<10	<10	<10	43,25	<10	<10	<10	<10	<10
Фосфат-ионы, мг/дм <sup>3</sup>	7	<0,05	<0,05	0,9	0,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07	0,21	0,13	0,09	0,17
Нитрит-ионы, мг/дм <sup>3</sup>	8	0,05	0,05	0,05	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02		0,1
Нитрат-ионы, мг/дм <sup>3</sup>	9	13	12	<0,1	<0,1	9	10	17	1	8,08	4,46	4		6,76
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	10	11	<2	4	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2		66,8
Перманганатная окисляемость, мг/дм <sup>3</sup>	11			0,56	<0,25	2,8	2,8	2,2	2	0,7	0,6	0,9		2,48
Общая щелочность, мг/дм <sup>3</sup>	12	0,8	1	1,4	1,4	<0,005	<0,005	<0,005	1	<0,005	<0,005	0,07		1
Жесткость, мг/дм <sup>3</sup>	13	<0,1	<0,1	0,06	<0,1	0,48	0,94	0,63	0,71	1,4	1,2	1,22		1,48
Общее железо, мг/дм <sup>3</sup>	14	0,94	1,96	1,6	1,3	<0,05	<0,05	<0,05	0,2	<0,05	<0,05	0,09		<0,05
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	15													
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	16													

Международная научно-практическая конференция  
"Наука и образование в Арктическом регионе"

Продолжение табл. 1

1	Июнь 2016	Сентябрь 2016	Октябрь 2016	Ноябрь 2016	Декабрь 2016	Январь 2017	Февраль 2017	Март 2017	Апрель 2017	Май 2017	Октябрь 2017	Ноябрь 2017	Декабрь 2017	Январь 2018	Февраль 2018
2	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	4	4	7	8	15		6	7	5	4
5	7,55	8,7	6,86	6,97	7,12	7,21	7,43	7,67	7,56	7,23					7,51
6	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	12,76	11,34	10,64	10,64	13,47
7	0,085	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	0,34	0,23	<0,05	<0,05	<0,05	0,052	0,27	0,07
8	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02
9	8,07	<0,1	6,06	7,03	8,58	4,56	6,82	5,12	7,25	9,69	7,05	0,041	10,32	1,32	0,24
10	132	29	<2	31	40	30,99	41	36	39	26	8,59	32,12	28,88	30,94	8,62
11	0,9	0,2	0,48	0,33	0,3	0,8	1,2	0,42	0,65	1,1	3,96	3,52	3,78	3,17	3,17
12	0,8	0,5	1	0,9	1,2	1,4	0,9	1,1	1	1	1,00	1,20	0,90	0,90	1,00
13	1,44	1,2	1,2	1,1	1,36	1,68	6,8	3,2	1,67	1,54	1,30	1,24	1,20	1,20	1,24
14	<0,05	0,1	0,06	0,11	0,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,24	0,07	0,07	<0,05	<0,05	0,11
15															15,23
16															50

Весной и осенью 2016 г. с помощью сотрудников кафедры микробиологии и биохимии ФГБОУ ВО "МГТУ" были проведены микробиологические исследования качества родниковой воды по следующим показателям: общее микробное число (ОМЧ), общие колиформные бактерии (ОКБ), термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ).

Санитарные правила и нормы 2.1.4.1175-02 "Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников" [4] устанавливают следующие нормативы для микробиологических показателей: для ОМЧ не более 100 образующих колонии бактерий в 1 мл, для ОКБ и для ТКБ отсутствие бактерий в 100 мл.

Весной ОМЧ в пробе воды из родника в пгт. Мурманши составило 3 КОЕ/мл, но в воде были обнаружены ОКБ. Осенью общее микробное число составило 15 КОЕ/мл и при этом ОКБ и ТКБ отсутствовали в пробах воды.

Средние концентрации исследуемых показателей качества воды их родника в пгт. Мурманши за период с 2015 по 2018 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Средние концентрации загрязняющих веществ в воде родника пгт. Мурманши в период с 2015 по 2018 гг.

Наименование показателя качества	Единицы измерения	Средняя концентрация
Запах	баллы	0
Цветность	градусы	5
рН	единицы	7,55
Хлориды (СГ)	мг/дм <sup>3</sup>	<10
Фосфат-ионы (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,13
Нитрит-ионы (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,02
Нитрат-ионы (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	6,44
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	22,44
Перманганатная окисляемость	мг/дм <sup>3</sup>	1,57
Общая щелочность	мг/дм <sup>3</sup>	0,80
Жесткость	мг/дм <sup>3</sup>	1,32
Общее железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,27
Кальций (Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	15,23
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	50

Существует два основных способа отображать химический состав воды: с помощью формул и графический. В России широко распространено использование формулы Курлова в различных ее модификациях (Резников и др. 1970). Среди графического представления широко известны диаграммы Пайпера, циклограммы Н. И. Толстихина, М. Г. Валяшко, О. А. Алекина и др.

Для удобства сопоставления анализов воды существуют различные способы сокращённого изображения состава. Наиболее часто применяется формула М. Г. Курлова – это наглядное изображение химического состава природной воды. В этой формуле, выражаемой в виде псевдо дроби, в числителе пишут в процент-эквивалентах в убывающем порядке анионы, а в знаменателе в таком же порядке катионы. Ионы, присутствующие в количестве менее 10 % экв, в формулу не вносят. К символу иона приписывают его содержание в процент-эквивалентах в целых числах. Впереди дроби указывают величину минерализации (М) в г/л, рН, жёсткость в мг·экв /л и компоненты, специфичные для данного анализа (СО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>С, Вг<sup>-</sup>, J радиоактивность и др.). После дроби указывают температуру воды (t<sup>0</sup>С) и дебит источника или скважины в (D), м<sup>3</sup>/сут [5].

Химический состав воды из родника в пгт. Мурмаши можно представить формулой Курлова в следующем виде:

---

Согласно вышеуказанной формуле вода из родника в пгт. Мурмаши можно характеризовать как близкую к нейтральной, мягкую, ультрапресную, сульфатно-хлоридную кальциевую.

Полученные данные о качестве воды из родника в пгт. Мурмаши позволяют сделать выводы об ухудшении качества родниковой воды в периоды паводков и интенсивных выпадений осадков. В первую очередь это может быть связано с инфильтрационной природой родниковых вод, во-вторых, с тем, что состав почв оказывает влияние на химический состав родниковой воды, поскольку грунтовые воды находятся в непосредственном контакте с подстилающими породами. А также одним из факторов, обуславливающих низкое качество воды нецентрализованных источников водоснабжения можно отнести низкую защищенность водоносных горизонтов от загрязнения с поверхности территорий.

Подземные воды, в том числе родниковые, находятся в постоянном контакте с различными компонентами окружающей среды и их качество напрямую зависит от сложных физико-химических процессов, возникающих в результате этих контактов.

Изменение качества подземных вод в результате загрязнения особенно заметно в промышленных зонах и в районах повышенной антропогенной

нагрузки. В таких условиях весьма актуальна проблема своевременного выявления и охраны подземных вод от загрязнения [6].

### **Библиографический список**

1. Моисеенко, Т. И. Водные ресурсы Евро-Арктического региона и ключевые проблемы изменения их качества / Т. И. Моисеенко // Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX в. и перспективы. – 2004. – С. 17–32. – URL: <http://www.kolasc.net.ru/russian/innovation/ksc70/1.1.pdf> (дата обращения: 26.02.2018).

2. Исследование подземных источников для водоснабжения городов Заполярья экологически чистой водой на примере города Апатиты / В. П. Коноухин, А. А. Козырев, А. О. Орлов, Ю. Г. Смирнов // Арктика: экология и экономика. – 2012. – №2 (6). – С. 58-65. – URL: [http://arctica-ac.ru/docs/2\(6\)/58-65.pdf](http://arctica-ac.ru/docs/2(6)/58-65.pdf) (дата обращения: 26.02.2018).

3. СанПиН 2.1.4. 1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Введ. 2002-09-26. – М.: Минздрав России, 2001.

4. СанПиН 2.1.4. 1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. – Введ. 2002-11-25. – М.: Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.

5. Основы гидрогеологии и инженерной геологии: метод. указания к выполнению лабораторных работ / сост. А. В. Леонова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 46 с.

6. Буймова, С. А. Комплексная оценка качества родниковых вод на примере Ивановской области / С. А. Буймова, А. Г. Бубнов; под ред. А. Г. Бубнова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2012. – 463 с.

7. Христина, Т. Я. Оценка качества родниковой воды города Мурманска и его окрестностей на основе химических и микробиологических показателей / Т. Я. Христина, О. Ю. Богданова // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 8. – С. 75–76. – URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=27637> (дата обращения: 26.02.2018).

## Анализ подходов к учету судовых дизельных установок при расчете рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Дарусенкова Е. Ю., Широнова А. Ю. (г. Мурманск, ФГБОУ "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** В статье приведено описание действующих методик и законодательных актов, связанных с нормированием выбросов в атмосферный воздух от судов, а также их анализ в соответствии с различными подходами к учету судов как источников выбросов. По результатам исследований сделан вывод о несовершенстве методологии реализуемой на данный момент в этой области.

**Abstract.** This article describes and analyses of valid methodologies in the field of rationing ship emissions. The work concluded that valid method has some limitations.

**Ключевые слова:** выбросы, методика, суда, загрязнение атмосферного воздуха.

**Key words:** emissions, method, ships, air pollution.

Проблема учета и нормирования выбросов в атмосферный воздух от судов является актуальной для многих регионов России, в том числе и для Мурманска, поскольку именно здесь расположен крупнейший в мире порт за Полярным кругом. Помимо причалов морского торгового и рыбного порта на акватории Кольского залива, прилегающей к Мурманску, размещен пассажирский терминал морского вокзала, нефтебаза, судоремонтные заводы и т. д. [1].

Около 50 судов портового флота, имеющих разное назначение, обслуживают как сам порт, так и другие организации, базирующиеся на его причалах. Следовательно, маршрут передвижения судов ограничен акваторией порта.

В соответствии с действующим законодательством, суда являются передвижными источниками, следовательно, их выбросы не нормируются, не контролируются и не регулируются. Также не производится учет их воздействия на атмосферный воздух селитебных зон. Вместе с тем возможность обеспечить надлежащий учет, нормирование и регулирование выбросов от судов в пределах акватории порта имеется.

В ст. 23 Федерального закона № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" указывается, что нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов устанавливаются для стационарных, передвижных и иных источников воздействия на окружающую среду субъектами хозяйственной и иной деятельности исходя из нормативов допустимой антропогенной наг-

рузки на окружающую среду, нормативов качества окружающей среды, а также технологических нормативов [2]. Таким образом, предполагается нормирование передвижных источников, к которым относятся суда.

Однако в соответствии с Письмом Минприроды России № 12-44/22962, в котором дается определение источника выброса как "сооружения, технического устройства, оборудования, которые выделяют ватмосферный воздух вредные (загрязняющие) вещества" (согласно статье 1 Федерального закона № 96-ФЗ "Об охране атмосферного воздуха"), ограниченные территории хранения и работы передвижных источников выбросов, к которым вполне возможно отнести и акваторию порта, не могут считаться самостоятельными источниками выбросов[3].

Следовательно, в случае, когда суда портофлота относят к передвижным источникам, искажается картина загрязнения атмосферного воздуха, что при разработке проектной документации ведет к недооценке уровня воздействия предприятий на атмосферный воздух.

При этом в Методическом пособии по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [4] есть указание, что в пределах производственной территории хозяйствующего субъекта транспортные средства (передвижные источники выбросов) следует считать источниками выделения загрязняющих веществ. Так же подчеркивается, что места хранения и работы передвижных источников в пределах производственной площадки предприятия подлежат инвентаризации как источники выброса. Кроме того, совершенно однозначно указывается на то, что суда в акватории морского порта относятся к стационарным неорганизованным источникам выбросов, и к ним применяются расчётные методы их определения.

Действительно, если руководствоваться определениями "источник выброса" и "источник выделения", то ограниченные территории работы и хранения передвижных источников загрязнения атмосферы не являются источниками выброса, поскольку не оборудованы техническими устройствами для отвода газовой смеси. Но при этом, несомненно, с этих территорий в атмосферу поступают неорганизованные выбросы загрязняющих веществ (например, от работающих двигателей автомобилей, передвигающихся по автостоянке или стоящих и работающих на холостом ходу). Т. е., фактически, автостоянка является стационарным, площадным источником, так как соответствует приведенным определениям. Аналогичным образом приведенные выше обоснования можно отнести и к судам портофлота, работающим в пределах акватории порта.

Следует отметить, что учет выбросов от передвижных источников возможен в случае применения при разработке проектной документации фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Как правило, данные о значениях фоновых концентраций запрашиваются в подразделениях Росгидрометеослужбы, которые рассчитывают их на основе информации со стационарных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха. Так, например, Мурманское УГМС в настоящее время предоставляет подобную информацию по 19 загрязняющим веществам, измерения которых производятся на трех постах. Этот перечень не включает все вещества, выбрасываемые в атмосферу г. Мурманска. К тому же величины фоновых концентраций представительны в сравнительно небольшом радиусе вокруг постов [5]. Таким образом в полной мере учесть фоновое загрязнение не представляется возможным, а эффект суммарного воздействия совокупности предприятий на загрязнение городского воздуха по многим веществам учитывается недостаточно.

Открытым остается вопрос, каким образом производить расчет выбросов от судов, чтобы наиболее точно определить их пространственное распределение. Для решения этого вопроса необходимо обратиться к действующим методикам расчёта выбросов для других транспортных средств. К таким методикам можно отнести "Методику проведения инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферу на предприятиях ЖД транспорта" [6], "Методику проведения инвентаризации выбросов ЗВ в атмосферу от баз дорожной техники" [7], а также "Методику проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий"[8]. По аналогии с приведёнными методиками производственной площадкой для судов портофлота следует считать акваторию порта, в пределах которой осуществляется судоходство и, соответственно, рассчитываются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Для проведения расчетов в соответствии с различными указаниями и рекомендациями, содержащимися в нормативных документах, использовали программу УПРЗА "Эколог" версии 3.1. Для расчетов использовали исходные данные предприятия Мурманской области, у которого на балансе числится 2 лоцманских катера и 1 ледокол, выполняющий специальные задачи в границах порта. Предварительно провели инвентаризацию выбросов судов с использованием "Методики расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок"[8]. После расчета максимально-разовых и валовых выбросов от судовых дизельных установок провели



расчет рассеивания с помощью программы УПРЗА "Эколог". При расчете применяли 3 подхода, предлагаемых в действующих нормативных актах:

1. Отсутствие учета судов портофлота, так как они являются передвижными источниками.

3. Учет судов портофлота как точечных источников и их привязка к причалу, где они базируются (рис. 1, а; рис. 2,а)).

4. Учет судов портофлота как неорганизованных площадных источников, где площадью, с которой загрязняющие вещества поступают в атмосферу, является акватория порта (рис. 1, б; рис. 2, б).

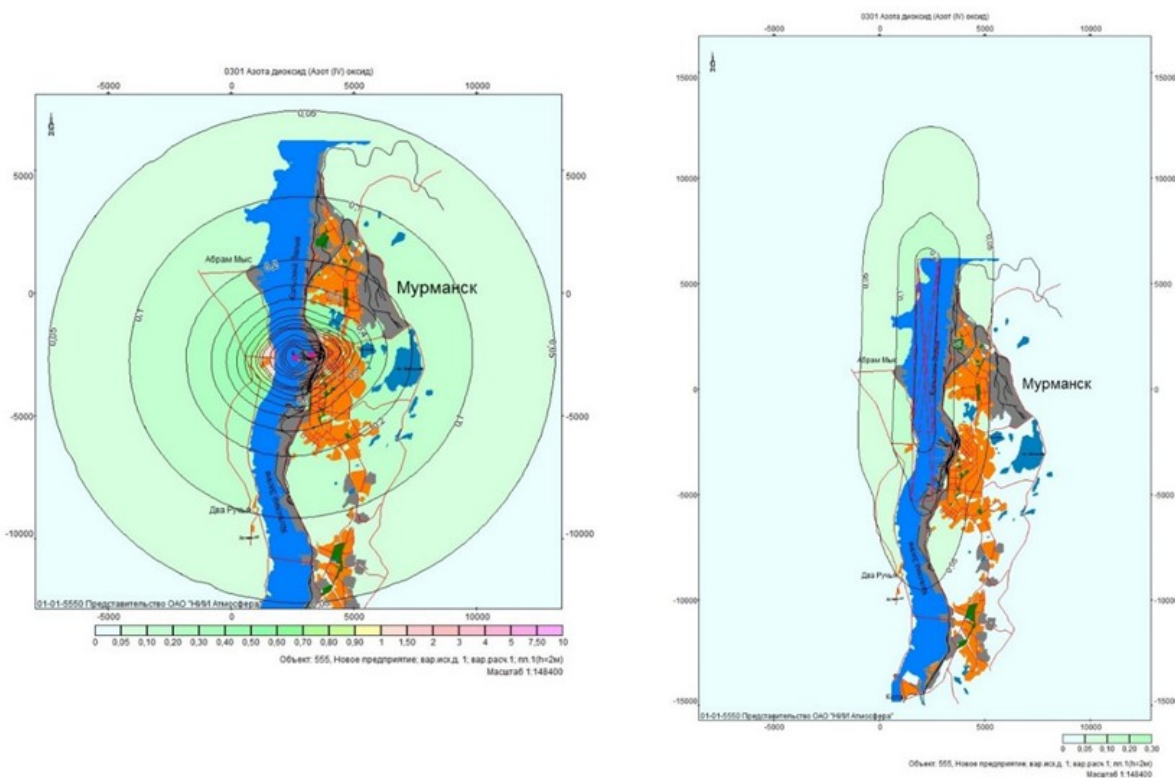


Рисунок 1 – Изолинии концентраций загрязняющих веществ  
(на примере диоксида азота) при стилизации судов:

а) – как точечных источников загрязнения атмосферы; б) – как площадных источников

В случае применения первого способа учета судов портофлота теряется ряд источников загрязнения атмосферы: источники не нормируются, не контролируются и не регулируются. Применение первого варианта учета выбросов может привести к тому, что некоторые источники загрязнения атмосферы могут остаться неучтенными как при измерениях на постах Росгидрометеослужбы, так и в расчетном мониторинге загрязнения атмосферы, но при этом продолжают оказывать вредное воздействие на качество атмосферного воздуха. В таком случае фактические концентрации вредных веществ в атмо-

сфере могут превышать расчетные. Во втором случае результаты расчета рассеивания и изолинии не соответствуют реальности, так как суда работают не только у причала и, следовательно, не создают таких уровней концентраций загрязняющих веществ. Третий вариант расчета позволяет наиболее адекватно оценить рассеивание загрязняющих веществ, так как суда работают по всей акватории порта, и выделяемые в процессе работы вещества поступают в атмосферу в виде ненаправленных потоков газа.

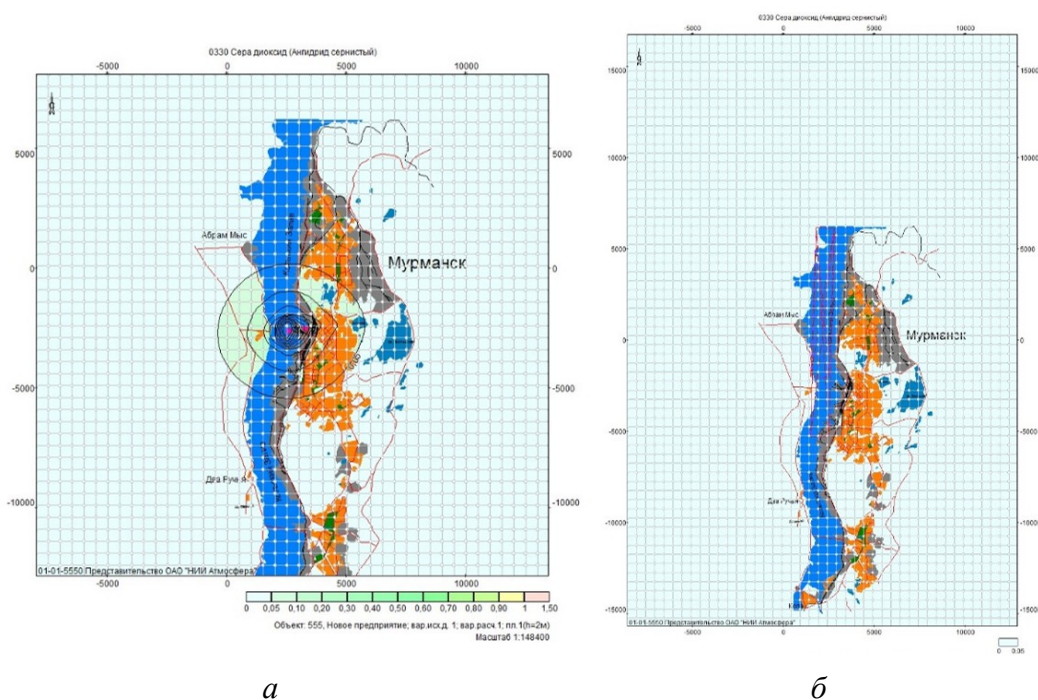


Рисунок 2 – Изолинии концентраций загрязняющих веществ  
(на примере диоксида серы) при стилизации судов:

а) – как точечных источников загрязнения атмосферы; б) – как площадных источников

Таким образом, на примере г. Мурманска можно сделать вывод о необходимости корректировки существующих методов нормирования выбросов от судов портового и речного флота. При расчете рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере предлагается рассматривать акваторию порта, где работают суда портофлота, как неорганизованный площадной источник. Такой подход позволит получить более полную и достоверную информацию о загрязнении атмосферного воздуха в прибрежных городах России.

### Библиографический список

1. Беломортранс. Порт Мурманск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belomortrans.ru/ru/area-delivery/szfo/murmanskaya-oblast/murmansk>, свободный. – Загл. с экрана.

5. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 29.07.2017) "Об охране окружающей среды" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823), свободный. – Загл. с экрана.

6. Письмо Минприроды России от 18 сентября 2015 г. N 12-44/22962 "О нормировании выбросов" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://vzv-eco.ru/userfiles/ufiles/osnov/pismo\\_22962d4df.pdf](http://vzv-eco.ru/userfiles/ufiles/osnov/pismo_22962d4df.pdf), свободный. – Загл. с экрана.

7. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792228.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

8. Гигиена, токсикология, профпатология: традиции и современность: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием/ под ред. д.м.н., проф. А.Ю. Поповой, академика РАН проф. В. Н. Ракитского. – М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и Ко", 2016. – 642 с.

9. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях железнодорожного транспорта (расчетным методом) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=459062#0>, свободный. – Загл. с экрана.

10. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для баз дорожной техники (расчетным методом) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200031567>, свободный. – Загл. с экрана.

11. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортных предприятий (расчетным методом) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=391463#0>, свободный. – Загл. с экрана.

12. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных дизельных установок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200034008>, свободный. – Загл. с экрана.

## Оценка экологического состояния водных объектов в зоне влияния деятельности АО "Олкон" (Оленегорский ГОК)

Даувальтер В. А.<sup>1,2</sup>, Кашулин Н. А.<sup>1</sup> (г. Апатиты, <sup>1</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук" (ИППЭС КНЦ РАН); <sup>2</sup>Апатитский филиал Мурманского государственного университета, кафедра геоэкологии)

**Аннотация.** Исследован химический состав донных отложений водоемов в зоне влияния деятельности АО "Олкон" (самого северного в стране предприятия по добыче железной руды и производителя железорудного концентрата) и проведена оценка экологического состояния озер по показателям коэффициента и степени загрязнения тяжелыми металлами.

**Abstract.** The chemical composition of the sediments of reservoirs in the zone of influence of the activities of JSC Olkon (the country's northernmost enterprise for the extraction of iron ore and the producer of iron ore concentrate) was studied, and the ecological state of lakes was assessed according to the indices of the coefficient and degree of contamination with heavy metals.

**Ключевые слова:** донные отложения, озера, тяжелые металлы, загрязнение, экологическое состояние.

**Key words:** sediments, lakes, heavy metals, pollution, ecological state

Поверхностные воды Арктики – ресурс, во многом определяющий экономическое и социальное развитие России, важнейшая составляющая энергетики и ресурсо-перерабатывающих технологий, источник питьевой воды и продовольствия. В озерах Арктической зоны, на фоне загрязнения окружающей среды и климата, наблюдаются нарушения продукционных процессов гидробионтов, уменьшение видового разнообразия. Исследование экологического состояния водоемов Арктического региона имеет важное научное и прикладное значение в связи с глобальными изменениями климата и загрязнения, усиливающимися в последние десятилетия.

С целью оценки экологического состояния водных объектов в зоне деятельности АО "Олкон" ИППЭС КНЦ РАН проведены гидрохимические и гидробиологические исследования, в том числе и донных отложений (ДО) озер (рис. 1). Отбор проб ДО производился отборником колонок гравитацион-

ного типа из наиболее глубоких частей исследуемых озер, в зонах максимальной седиментации, в которых происходит непрерывное осаждение тончайших частиц, являющихся активными сорбентами загрязняющих веществ. При отборе соблюдалась ненарушенность отобранных колонок. Колонки ДО послойно разделялись на слои по 1 см. Методика отбора и химического анализа проб ДО подробно описана ранее [1, 2]. Верхний поверхностный слой (0–1 см) характеризует современную нагрузку веществ на озеро, а глубокая часть колонки (обычно между 20 и 30 см) отражает природные фоновые концентрации, так как средние скорости осадконакопления в озерах Мурманской области довольно постоянны и находятся в пределах 0.7–1.6 мм/год [3], поэтому самые глубокие слои в отобранных колонках ДО образовались более 200 лет тому назад, до начала индустриального освоения региона.

В поверхностных слоях ДО исследуемых водоемов отмечается довольно значительное увеличение концентраций Cu, Ni, Co, Zn по направлению к поверхности ДО (рис. 2), как это было отмечено в водоемах в зоне влияния атмосферных выбросов комбината "Североникель" [4], находящегося на расстоянии около 30 км от исследуемой территории. Загрязнение вышеперечисленными тяжелыми металлами связано, скорее всего, с влиянием атмосферных выбросов комбината "Североникель", а не с загрязнением АО "Олкон". Как было установлено ранними исследованиями [1, 2], влияние выбросов металлургических комбинатов области распространяется на расстояние до 40–50 км. Ранее [5] было обнаружено, что при увеличении валовых концентраций Ni и Cu в ДО увеличивается доля их подвижных соединений, что повышает опасность их негативного влияния на гидробионтов и на водные экосистемы в целом.

Зафиксировано значительное загрязнение поверхностных слоев ДО халькофильными высокотоксичными металлами Cd, Pb, As и Hg (рис. 2), но начало загрязнения этими металлами отмечается, как правило, на больших глубинах, чем приоритетных загрязняющих тяжелых металлов. Вышеперечисленные халькофильные металлы многими учеными-экологами в последние десятилетия причислены к перечню глобальных элементов-загрязнителей особенно в Арктической зоне [6].



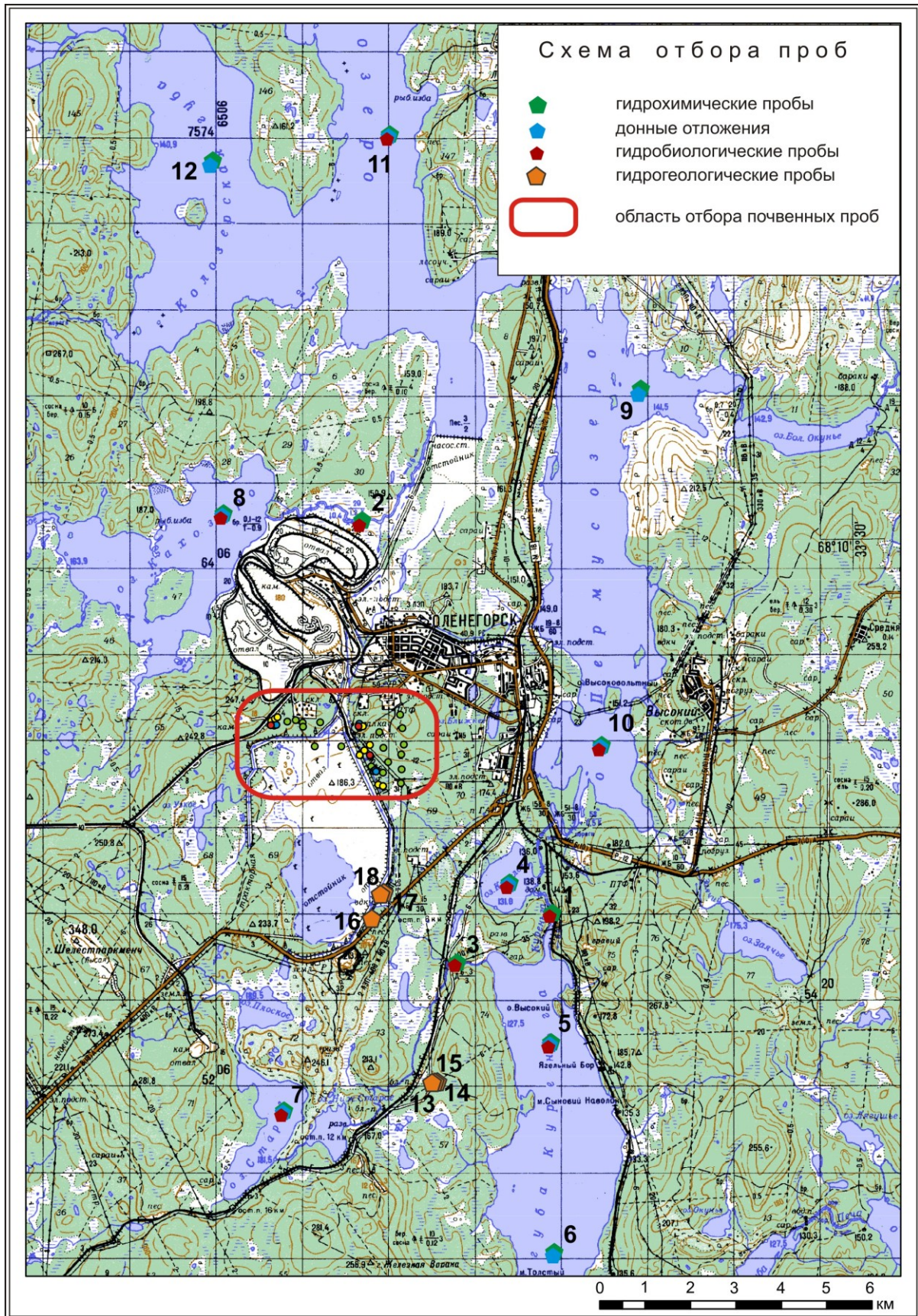


Рисунок 1 – Схема отбора проб на водоемах Оленегорского района.  
Пробы ДО обозначены синим пятиугольником

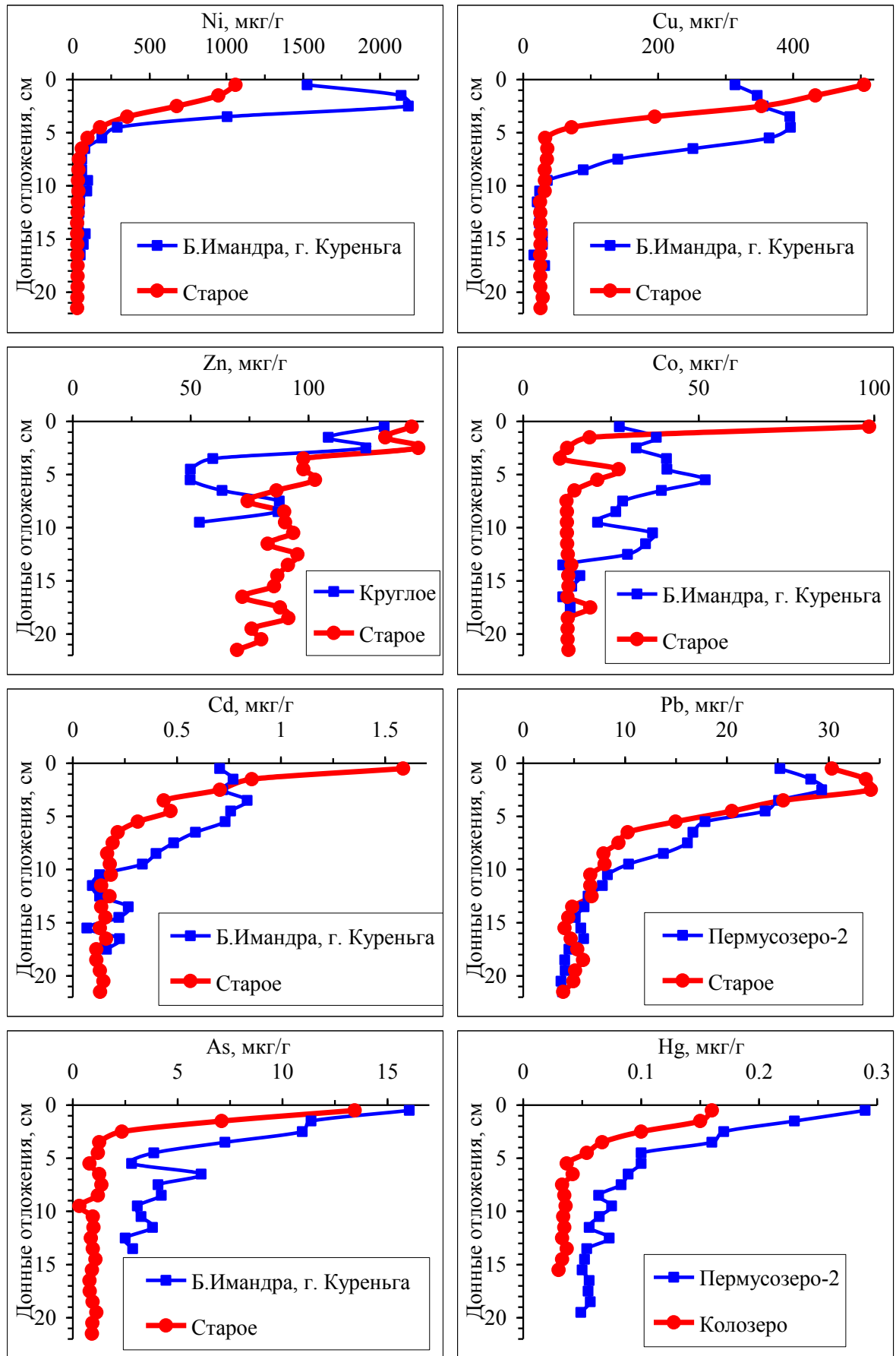


Рисунок 2 – Вертикальное распределение металлов в ДО исследуемых озер



Таблица 1 – Концентрации тяжелых металлов в поверхностных (0-1 см) и фоновых слоях (вторая строка каждого озера) ДО, значения коэффициентов ( $C_f$ ) и степени ( $C_d$ ) загрязнения исследуемых озер. Номера озер соответствуют номерам станций на рис. 1.

№№ озера	Озеро	Слой, см	Cu	Ni	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	$C_d$
4	Круглое	0-1	144	198	132	22	0.20	14.1	4.22	0.100	27.3
		9-10	41	43	54	16	0.05	4.7	1.24	0.021	
		$C_f$	3.5	4.6	2.5	1.4	4.2	3.0	3.4	4.8	
5	Б. Имандра, губа Куреньга-2	0-1	260	1525	116	28	0.58	14.9	10.86	0.079	61.6
		16-17	25	49	154	15	0.20	2.2	2.32	0.025	
		$C_f$	10.4	31.1	0.8	1.8	3.0	6.8	4.7	3.2	
6	Б. Имандра, губа Куреньга-1	0-1	314	1521	92	27	0.71	13.4	16.04	0.098	56.0
		17-18	32	55	128	13	0.16	3.5	2.86	0.047	
		$C_f$	9.8	27.5	0.7	2.0	4.4	3.9	5.6	2.1	
7	Старое	0-1	505	1060	144	99	1.59	30.3	13.4	0.087	106
		21-22	26	29	70	13	0.13	3.9	0.91	0.017	
		$C_f$	19.6	37.2	2.1	7.6	12.1	7.7	14.8	5.1	
8	Кахозеро	0-1	266	444	75	21	0.47	13.1	4.56	0.040	42.4
		17-18	31	48	82	10	0.13	1.5	0.56	0.031	
		$C_f$	8.5	9.2	0.9	2.0	3.5	8.9	8.1	1.3	
9	Пермус озеро-1	0-1	151	286	154	29	0.33	21.8	4.42	0.160	53.1
		20-21	13	20	100	10	0.12	2.9	0.82	0.023	
		$C_f$	11.2	14.6	1.5	3.0	2.9	7.5	5.4	7.0	
10	Пермус озеро-2	0-1	197	264	219	25	0.58	25.2	8.04	0.290	47.3
		21-22	16	30	160	22	0.21	3.9	0.96	0.049	
		$C_f$	12.3	8.8	1.4	1.2	2.8	6.5	8.4	5.9	
11	Колозеро	0-1	266	444	75	21	0.47	13.1	3.98	0.160	43.0
		17-18	31	48	82	10	0.13	1.5	0.86	0.030	
		$C_f$	8.5	9.2	0.9	2.0	3.5	8.9	4.6	5.3	
12	Колозеро, Колозерская губа	0-1	246	404	119	38	0.22	24.6	9.03	0.117	38.0
		16-17	54	74	207	25	0.15	2.1	1.07	0.028	
		$C_f$	4.6	5.5	0.6	1.5	1.5	11.6	8.4	4.2	

Загрязнение ДО исследуемых водоемов халькофильными элементами носит, скорее всего, глобальный характер, хотя ранее [4] вблизи комбината "Североникель" было также отмечено загрязнение Cd, Pb, As и Hg поверхностных слоев ДО. Это загрязнение связывалось с влиянием деятельности комбината "Североникель", их поступлением из других антропогенных источников, например, на энергетических установках за счет сжигания угля и другого топлива, а также и за счет глобального загрязнения.



Выявлено довольно значительное превышение фоновых содержаний Mn и Fe в поверхностных слоях ДО (до 33.1 раза и до 4.7 раза для Mn и Fe соответственно), что связано с поступлением этих металлов со сточными водами и атмосферными выбросами АО "Олкон" в озера, находящиеся вблизи от рудников и обогатительных фабрик.

Обнаружено превышение концентраций Sr в поверхностных слоях ДО над фоновыми значениями во всех исследуемых водоемах в 1.8-6.6 раза. Отмечено также незначительное превышение над фоновыми содержаниями щелочных (Na и K) и других щелочноземельных (Ca и Mg) металлов в некоторых озерах. Увеличенное поступление щелочных и щелочноземельных металлов в исследуемые водоемы и в конечном итоге в ДО по сравнению с природными фоновыми содержаниями происходит с пылью при разработке железных руд.

Коэффициенты загрязнения ( $C_f$  – отношение концентрации элемента в поверхностном 1-см слое ДО к содержанию этого элемента в самой нижней части колонки, определяемого как фоновое [7]) для Cu находятся в диапазоне от 3.5 до 19.6 раза, для Ni – от 4.6 до 37.2 раза, для Co – до 7.6 раза, для Zn – до 2.5 раза (табл. 1). Отмечено довольно значительное превышение фоновых концентраций халькофильных элементов: для Cd – от 1.5 до 12.1 раза, для Pb – от 3.0 до 11.6 раза, для As – от 3.4 до 14.8 раза, для Hg – от 2.1 до 7.0 раза. Поэтому эти чрезвычайно токсичные в повышенных концентрациях халькофильные элементы можно отметить в качестве основных загрязняющих элементов, наряду с Ni и Cu.

Наибольшее значение степени загрязнения ( $C_d$ ), рассчитанной как сумма коэффициентов загрязнения восьми ТМ (Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Pb, Hg и As), отмечено в оз. Старое, расположенном в 9 км на юг от г. Оленегорск. На западном берегу оз. Старое расположены отвалы Оленегорского горно-обогатительного комбината ОАО "Олкон", стоки с которых, возможно, вносят значительный вклад в загрязнение озера. На втором месте по степени загрязнения стоит губа Куреньга плеса Большая Имандра, долгое время загрязняемая стоками и выбросами комбината "Североникель", а также АО "Олкон". Пермусозеро, являющееся источником питьевого водоснабжения г. Оленегорска и АО "Олкон", также интенсивно загрязняется, о чем свидетельствуют высокие значения степени загрязнения. Остальные исследуемые озера характеризуются высокими значениями степени загрязнения (согласно классификации [7]  $C_d > 32$ ), кроме оз. Круглое.

### Библиографический список

1. Даувальтер В. А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской субарктики (природоохранные аспекты проблемы) // Автореф. дис. д. г. н. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. – 52 с.
2. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. – Мурманск: Изд-во Мурманского гос. техн. ун-та, 2012. – 242 с.
3. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Денисов Д. Б. Тенденции изменения содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер Севера Фенноскандии в последние столетия // Труды Карельского научного центра РАН. – 2015. – № 9. С. 62–75.
4. Даувальтер В. А., Даувальтер М. В., Кашулин Н. А., Сандимиров С. С. Химический состав донных отложений озер в зоне влияния атмосферных выбросов комбината "Североникель" // Геохимия. – 2010. – № 11. – С. 1224–1229.
5. Даувальтер В. А. Оценка токсичности металлов, накопленных в донных отложениях озер // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27, № 4. – С. 469–476.
6. Расуна J. M., Расуна, E. G. An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide // Environmental Reviews. – 2001. – V. 4 – P. 269–298.
7. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Res. – 1980. – V. 14. – P. 975–1001.

## Анализ изменения показателей качества воды родника "Фадеев ручей"

**Кобец А. Ю., Гапоненков И. А.** (г. Мурманск, <sup>1</sup>АО "ММРП", <sup>2</sup>ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** Часть населения г. Мурманска и Мурманской области использует родниковую воду для питьевых и бытовых целей. Однако, качество этой воды, как правило, неизвестно. Более того, в последние десятилетия в результате интенсивного антропогенного воздействия на все компоненты окружающей среды химический состав не только поверхностных, но и подземных вод заметно изменился. Целью исследований является проведение мониторинговых исследований и оценка качества питьевой воды родника "Фадеев ручей".

**Abstract.** Part of the country's population uses spring water for drinking and domestic purposes. However, the quality of this water is usually unknown. Moreover, in recent decades, as a result of intensive anthropogenic impact on all components of the environment, the chemical composition of not only surface waters, but also groundwaters has changed markedly. The purpose of the research is to conduct monitoring studies and assess the quality of drinking water of the "Fadeev stream".

**Ключевые слова:** гидрохимический анализ, родники, питьевая вода.

**Key words:** hydrochemical analysis, springs, drinking water.

Вода является важнейшим ресурсом, без которого не возможна жизнь на Земле. Это самое распространённое соединение на планете, обладающее уникальными физическими и химическими свойствами. Вода необходима для нормальной жизнедеятельности всех живых организмов [1].

Часть населения страны использует родниковую воду для питьевых и бытовых целей. По классическому понятию родники – это концентрированные выходы подземных вод непосредственно на земную поверхность. Родниковые воды – это воды, содержащие в своем составе не только определенный состав химических элементов, но и определенные связи, способствующие жизнедеятельности человеческого организма. Этим воды родников и отличаются от водопроводных и очищенных газированных вод.

В Мурманской области насчитывается около 70 родников, из них 25 источников нецентрализованного водоснабжения ежегодно контролируются. Имеются родники, пользующиеся популярностью у местного населения. Часть людей использует родниковую воду в силу своих предубеждений, некоторые не имеют доступа к централизованным источникам водоснабжения. Однако,

качество этой воды, как правило, неизвестно. Более того, в последние десятилетия в результате интенсивного антропогенного воздействия на все компоненты окружающей среды химический состав не только поверхностных, но и подземных вод заметно изменился [2].

К сожалению, в связи с бесхозностью родников, а зачастую и безответственностью водопотребителей, сами выходы родников захламляются, загрязняя не только собственно состав родниковой воды, но и образуя источники загрязнения подземных вод.

Согласно данным доклада Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области за 2016 г. [3] качество воды источников нецентрализованного водоснабжения соответствовало нормативным показателям. Однако, в докладе не представлено информации о том, из каких источников производился водозабор, а также по каким показателям осуществлялся контроль.

Объектом исследования являлся родник Фадеев ручей. Ежемесячно производился отбор проб родниковой воды с декабря 2014 г. настоящее время, за исключением лета, в связи с отпускным периодом, и производился их гидрохимический анализ. Отбор проб производился в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Проверялись следующие показатели по методикам: водородный показатель (ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97), железо (ПНД Ф 14.1:2.2-95), жесткость (ПНД Ф 14.1:2.98-97), нитрат-ионы (ПНД Ф 14.1:2:4.4-95), нитрит-ионы (ПНД Ф 14.1:2:4.3-95), перманганатная окисляемость (ПНД Ф 14.1:2:4.154-99), сульфат-ионы (ГОСТ 31940-2012), фосфат-ионы (ПНДФ 14.1:2:4.112-97), общая щелочность (ПНД Ф 14.1:2:3:4.245-2007) и хлорид-ионы (ПНД Ф 14.1:2.96-97).



Рисунок 1 – Родник Фадеев ручей

Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения определены СанПиН 2.1.4.1175-02 "Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованных систем питьевого водоснабжения. Санитарная охрана источников" [4], этим документом нормируются запах, вкус, мутность, цветность, коли-индекс, а также в нем указывается, что содержание химических веществ не должно превышать значений соответствующих предельно допустимых концентраций.

В результате гидрохимического анализа было выявлено однократное превышение верхней допустимой границы значения водородного показателя в мае 2016 г., оно составило 9,19. Данное превышение представлено на рис. 2. Превышений по другим показателям зафиксировано не было.

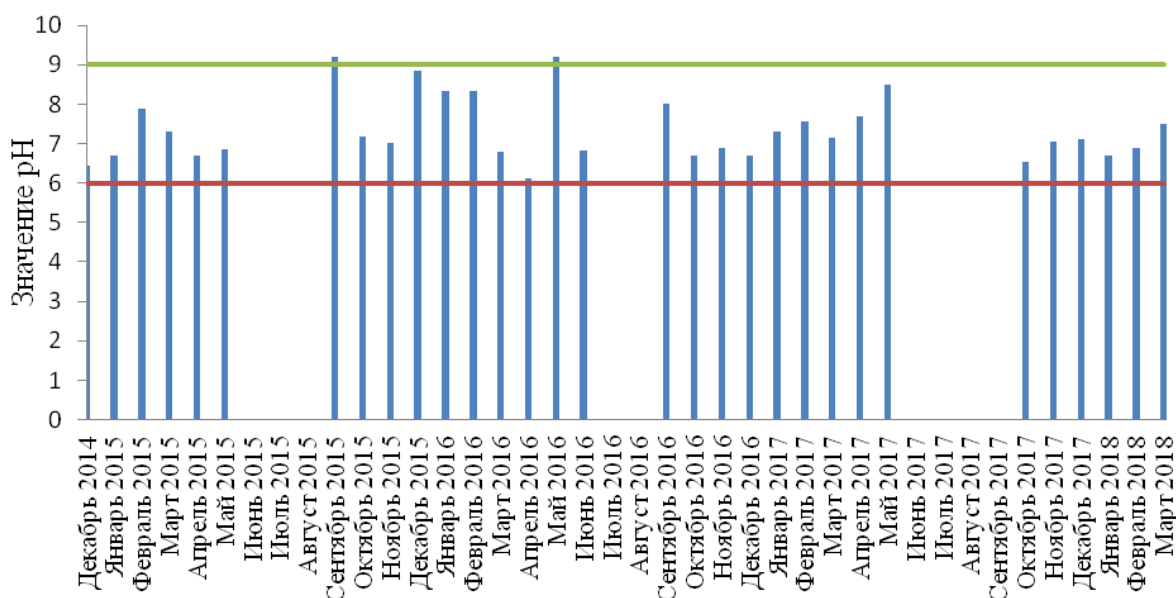


Рисунок 2 – Динамика изменения значений водородного показателя

Помимо гидрохимических показателей большое значение имеет и контроль тяжелых металлов, так как попадая в организм они способны накапливаться в органах и оказывать негативное влияние на здоровье человека.

С января 2017 проводился анализ родниковых вод на содержание ионов тяжелых металлов. Определение производилось вольтамперометрическим методом на анализаторе "Экотест-ВА" по методикам: кадмий, медь и свинец (РД 52.24.371-2007), никель и цинк (РД 52.24.373-2009).

Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов представлены в СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения" [5].

Вольтамперометрический метод анализа основан на использовании явления поляризации микроэлектрода, получении и интерпретации вольтамперных кривых, отражающих зависимость силы тока от приложенного напряжения. Электролиз проводят с использованием легкополяризуемого электрода с небольшой поверхностью, на котором происходит электровосстановление или электроокисление вещества. В результате получают вольтамперные кривые, анализ которых даёт информацию о качественном и количественном составе анализируемого вещества.

Максимальным зафиксированным превышением явилось десятикратное превышение содержания кадмия в пробе воды в результате анализа в январе 2017 г. Превышений по другим показателям не было обнаружено.

В результате анализа можно сделать вывод о том, что вода родника Фадеев ручей по гидрохимическим показателям соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1175-02, но, по результатам анализа на содержание ионов тяжелых металлов, имелись серьезные превышения по содержанию ионов кадмия. По содержанию таких металлов, как медь, никель, свинец и цинк не было обнаружено превышений предельно допустимых значений.

### **Библиографический список**

1. Буймова, С. А. Комплексная оценка качества родниковых вод на примере Ивановской области / С. А. Буймова, А. Г. Бубнов; под ред. А. Г. Бубнова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2012. – 463 с.
2. Патрушева, Н. Е Родниковая вода: Резервный источник водоснабжения или фактор риска / Н. Е. Патрушева // Дальневосточная весна. – 2016. – С. 310–312.
3. Доклад Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области "О состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2016 г." – Мурманск, 2017. – 180 с.
4. СанПиН 2.1.4. 1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников [Текст]. – Введ. 2002-11-25. – М.: Департамент Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002.
5. СанПиН 2.1.4. 1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества [Текст]. – Введ. 2002-09-26. – М.: Минздрав России, 2001.

## Моделирование системы комплексного управления прибрежной зоной на примере прибрежной зоны Кольского залива

**Крашевская А. А., Федорова О. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные этапы моделирования системы комплексного управления прибрежной зоной на примере прибрежной зоны г. Мурманска.

**Abstract.** Main stages of integrated management of coastal zones modeling are described in this article by example of Kola bay coastal zone.

**Ключевые слова:** комплексное управление прибрежной зоной, устойчивое развитие, прибрежное районирование, прибрежные экосистемы, Кольский залив.

**Keywords:** integrated coastal zone management, sustainable development, coastal zoning, coastal ecosystem, Kola Bay.

В мае 2014 г. Президент Российской Федерации Владимир Путин подписал Указ № 296, который определил сухопутные территории Арктической зоны России [5]. В соответствии с этим Указом, прибрежная зона Мурманской области, в том числе прибрежная территория Кольского залива в районе г. Мурманска, вошла в Арктическую зону России.

Вовлечение Арктических зон в процессы мировой экономики, развитие международных торговых и экономических связей государств, обладающих интересами в Арктике, наращивание объемов добычи полезных ископаемых, а также развитие трансграничных торговых путей приводит к увеличению антропогенной нагрузки на Арктический регион [3].

Положение Арктического региона осложняется и недостаточно развитыми информационной и транспортной инфраструктурой. Так, по мнению специалистов в области экологической безопасности, несоответствие оборудования стандартам, отсутствие квалифицированного персонала, несвоевременность передачи информации не позволяет предупреждать возникновение возможных аварий, сопряженных с разливами нефти, а также оперативно и своевременно принимать меры по их ликвидации [6].

Помимо этого, прибрежная зона Арктических регионов является зоной активной рыбной ловли и хозяйственно-бытового использования, что приводит к увеличению нагрузки на биологические виды, а также сокращению

полезной площади прибрежных территорий (образование отходов производства и потребления, отчуждение территорий под свалки).

Принимая во внимание уникальные климатические характеристики Арктического региона и низкую скорость восстановления и саморегуляции природных объектов и экосистемы, необходимым становится переход от несвязанного обособленного существования компонентов прибрежной зоны к комплексному управлению, основанному на устойчивом развитии Арктического региона.

В связи с этим был осуществлен подробный анализ зарубежного и отечественного опыта применения систем комплексного управления прибрежными зонами (КУПЗ) – экономико-правового инструмента, применяемого для учета многочисленных, противоположно отличающихся интересов прибрежных природопользователей [4].

На основе проведенного анализа были выделены следующие этапы моделирования системы КУПЗ:

- 1) определение объектов (участников) системы КУПЗ;
- 2) оценка существующего положения окружающей среды прибрежной зоны (оценка качества окружающей среды);
- 3) оценка воздействия объектов КУПЗ на существующую окружающую среду (экосистему);
- 4) разработка процессов взаимодействия объектов КУПЗ и разработка предложений по закреплению системы КУПЗ на законодательном уровне.

Моделирование системы КУПЗ Арктического региона велось на примере прибрежной зоны г. Мурманска.

На первом этапе были определены наиболее крупные объекты (участники) КУПЗ:

- портовое хозяйство;
- транспортный узел (строительство и функционирование объектов транспортного узла);
- погрузочно-разгрузочные работы (перегрузка угля в прибрежной зоне);
- деятельность водоканала (сброс сточных вод города в Кольский залив);
- оборонно-промышленный комплекс.

На втором этапе была проведена оценка качества окружающей среды.

Представление о качестве окружающей среды формировалось на основе интегральной оценки – т. е. определенному отбору наиболее инфор-



мативных показателей, нормированию исходных значений для приведения данных к аналогичным единицам измерения и дальнейшему суммированию пронормированных значений. Данная оценка позволяет проследить в динамике изменения качества окружающей среды с течением времени.

В качестве данных для интегральной оценки качества окружающей среды использовались доклады о состоянии окружающей среды Мурманской области с 2007 по 2016 г. [2].

Начальный набор критериев интегральной оценки качества окружающей среды прибрежной зоны состоял из следующих показателей:

- индекс веществ, загрязняющих атмосферный воздух – критерий, характеризующий состояние атмосферного воздуха прибрежной зоны –  $I_{AB}$ ;
- индекс веществ, загрязняющих морские воды – критерий, характеризующий состояние водных объектов в пределах прибрежных зон –  $I_{BO}$ ;
- индекс загрязненности почвы – критерий, характеризующий состояние почвы прибрежной зоны –  $I_{ЗП}$ .

После проведенных преобразований были получены значения качества окружающей среды ( $I_{OC}$ ), представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Интегральный критерий качества окружающей среды

Критерий	$I_{AB}$	$I_{BO}$	$I_{ЗП}$	$I_{OC}$
2007	1,00	1,50	0,08	2,58
2008	1,23	1,50	0,13	2,86
2009	1,23	1,33	0,16	2,73
2010	2,00	1,60	0,21	3,81
2011	1,20	1,67	1,57	4,44
2012	1,33	0,33	0,96	2,62
2013	0,89	1,92	2,31	5,12
2014	1,16	1,33	1,15	3,65
2015	1,33	1,80	1,22	4,36
2016	1,22	1,59	0,59	3,40

Основываясь на полученных данных, был построен график (рис. 1), указывающий на общую тенденцию ухудшения качества окружающей среды ( $I_{OC}$ ) прибрежной зоны г. Мурманска по сравнению с остальной Мурманской областью (по данным интегральной оценки – чем выше показатель интегрального критерия качества окружающей среды, тем выше накопленный экологический ущерб территории, тем ниже качество окружающей среды).

Следует принимать во внимание, что в докладах о состоянии окружающей среды Мурманской области используют уже осредненные данные,

обработка которых производится разными методами, что привело к выходу из общего тренда показателей интегрального качества окружающей среды в 2012, 2014 и 2016 гг.

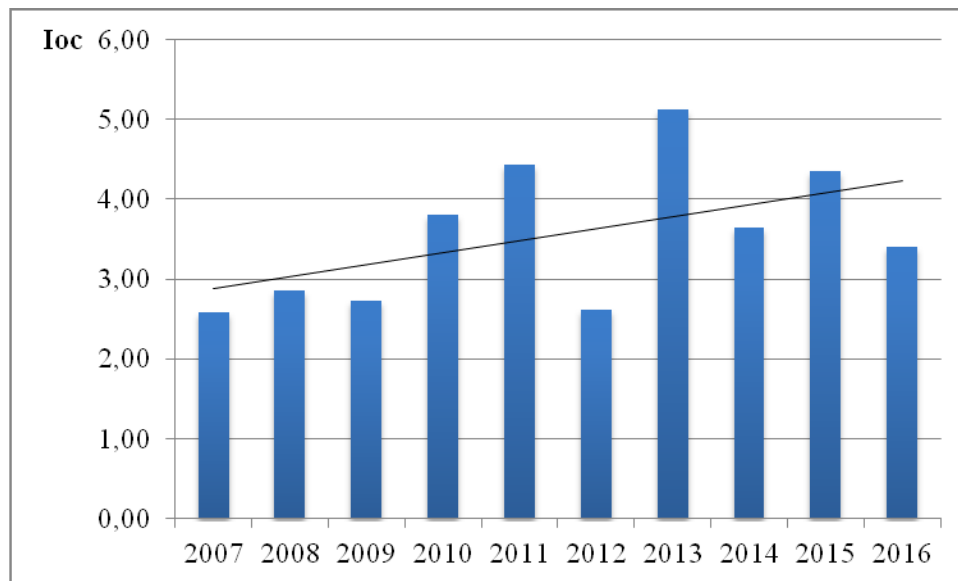


Рисунок 1 – Изменения интегрального показателя качества окружающей среды в 2007–2016 гг.

Увеличение количества нормируемых критериев, характеризующих состояние окружающей среды, а также увеличение объемов и точности осуществляемого мониторинга, позволит расширить интегральную оценку состояния прибрежной зоны г. Мурманска.

Третий этап моделирования системы КУПЗ заключается в оценке воздействия объектов КУПЗ на прибрежную зону. Оценку данного воздействия предлагалось проводить аналогично интегральной оценке качества окружающей среды. Оценка объема забранной морской воды, количества земель, используемых для производственных нужд, количество образованных отходов и др. позволила бы получить оценку качества техносферы. Зависимость качества прибрежной зоны от качества техносферы обратная – чем выше показатель качества техносферы, тем ниже показатель качества окружающей среды [1].

Однако отсутствие в открытом доступе производственных показателей объектов КУПЗ привело к невозможности оценки качества техносферы для сравнения его с качеством окружающей среды прибрежной зоны.

Из этого следует четвертый этап моделирования системы КУПЗ – необходимость создания механизмов взаимодействия объектов для осуществ-

ления регулярного мониторинга критериев качества окружающей среды и техносферы.

1) разделение прибрежных территорий на области и организация мониторинга качества окружающей среды;

2) выделение основных объектов КУПЗ, воздействующих на данные области (определение качества техносферы);

3) определение потенциала области прибрежной территории в зависимости от показателей качества природной среды и техносферы.

В итоге созданная система КУПЗ должна определять возможности промышленного развития прибрежной зоны без увеличения антропогенных нагрузок на экосистему. То есть, хозяйствующий субъект, осуществляющий свою деятельность в границах прибрежной зоны или намеревающийся осуществлять деятельность в таких зонах, должен предоставлять данные, необходимые для интегральной оценки качества окружающей среды, а также информировать соответствующие учреждения о возникновении аварийных ситуаций. Кроме того, предоставление информации о планируемых выбросах, сбросах, образовании отходов и т. д. на стадии планирования строительства объекта позволит реально оценить возможности осуществления данной хозяйственной деятельности на том или ином участке прибрежной зоны.

Эффективность внедрения системы КУПЗ можно определить только при практическом применении. Взаимодействие между различными этапами моделирования системы КУПЗ происходит по принципу "обратной связи" – при получении новых данных и результатов в этапы планирования вносятся изменения и корректировки.

Вместе с этим, моделирование системы КУПЗ на примере прибрежной зоны г. Мурманска, позволяющее определить условные границы эффективности, затрудняется уже на первом этапе. Обработки некоторого массива информации Министерством природных ресурсов и экологии Мурманской области в рамках подготовки ежегодных докладов о состоянии окружающей среды недостаточно для формирования полной картины. Необходимо внедрение более "надежных связей" хозяйствующих субъектов и учреждений, способных осуществлять статистическую обработку данных для интегральной оценки состояния окружающей среды и техносферы, позволяющих выявить потенциал использования прибрежной территории.

### Библиографический список

1. Бакуменко Л. П. Интегральная оценка качества и степени экологической устойчивости окружающей среды региона (на примере Республики Марий Эл) [Текст] / Л. П. Бакуменко, П. А. Коротков // Прикладная эконометрика. – 2008. – № 1 (9). – С. 73–92.
2. Ежегодные доклады о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gov-murman.ru/region/environmentstate/> (дата обращения 01.12.2017 г.).
3. Комплексное управление прибрежными зонами [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://coastal\\_zones\\_management.academic.ru/75/Комплексное\\_управление\\_прибрежными\\_зонами](https://coastal_zones_management.academic.ru/75/Комплексное_управление_прибрежными_зонами) (дата обращения 02.12.2017 г.) – Загл. с экрана.
4. Кочемасов, Ю. В. Эколого-экономическая оценка перспективы развития Арктики [Электронный ресурс] / Ю. В. Кочемасов, Б. А. Моргунов, В. И. Соломатин. – Режим доступа: <https://ecoteco.ru/id398/> (дата обращения 03.12.2017 г.). – Загл. с экрана.
5. Указ Президента Российской Федерации от 27.06.2017 г. № 287 О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 "О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kremlin.ru/acts/bank/38377> (дата обращения 01.12.2017 г.). – Загл. с экрана.
6. Чернов, С. Н. Особенности правового регулирования отношения в экономической, политической и социальной сферах в Арктической зоне [Текст] / С. Н. Чернов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2015. – № 5. – С. 103–107.

## Сравнительный анализ технологий получения жира из липидсодержащих отходов рыбной промышленности

**Куркотило В. Н., Васильева Ж. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме переработки липидсодержащих отходов рыбообработывающей промышленности с целью получения востребованных продуктов, содержащих ценные компоненты и биологически активные вещества. Дискуссионным продолжает оставаться вопрос об оптимальной технологии переработки липидсодержащих рыбных отходов, сохраняющей полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) и витамины А, D, E. Значительное внимание уделяется технологии ферментативной экстракции, как "зеленого метода" получения рыбного жира.

**Abstract.** The article is devoted to the actual problem of processing lipid-containing wastes of the fish processing industry for the purpose of obtaining demanded products containing valuable components and biologically active substances. Discussion continues to focus on the optimal technology for the processing of fish waste, preserving polyunsaturated fatty acids (omega-3) and vitamins A, D, E. Considerable attention is paid to the technology of enzymatic extraction, as "a green method" of obtaining fish oil.

**Ключевые слова:** рыбные отходы, рыбный жир, биологически активные вещества, ферментативная экстракция.

**Key words:** fish waste, fish oil, biologically active substances, enzymatic extraction.

Уникальный состав гидробионтов, обусловленный ценными макроэлементами и биологически активными веществами различной природы [1], требует особенно тщательного подхода к вопросам переработки и утилизации этого вида отходов, поэтому к актуальным проблемам рыбной отрасли относятся разработка и внедрение промышленных технологий по переработке отходов, обеспечивающих утилизацию отходов, комплексное использование рыбного сырья, высокую конкурентоспособность продукции, экономическую эффективность и экологическую чистоту производства. Во время переработки образуется значительное количество отходов (до 40 % в зависимости от уровня переработки и вида рыбы: головы; оставшиеся от филетирования ткани, кожа; кости; плавники; внутренние органы) [2].

Отходы рыбопереработки могут служить значимым источником рыбного жира. Содержание жира в отходах переработки зависит от вида рыбы, сезона вылова, типа отходов, некоторых других факторов, а в целом состав-

ляет от 2 до 30 % [3]. Больше 50 % массы генерируемых рыбных отходов являются потенциальным источником для производства рыбного жира высокого качества [4], который можно использовать как в медицинских, пищевых целях, так и для производства таких продуктов как биодизель, кормовой гидролизат, заменитель молока для животных, рыбный силос, белково-жировая масса, жироминеральный концентрат, концентраты жирорастворимых витаминов А, D и E [5, 6].

Рыбный жир является легкодоступным источником полиненасыщенных жирных кислот, представленных главным образом эйкозапентаеновой (EPA; 20:5n-3) и докозагексаеновой кислотами (DHA; 22:6n-3). Эти жирные кислоты, называемые "омега-3", являются биологически активными компонентами, которые нормализуют жировой обмен, способствуют выведению из организма избытка холестерина, являются жизненно необходимыми для функций мозга, обладают противовоспалительными и иммуностимулирующими свойствами [7, 8].

Производство рыбного жира из отходов рыбопереработки осуществляется в настоящее время в России, почти исключительно, как побочный процесс производства рыбной муки [9].

В этом случае, в результате технологического процесса термообработки рыбных отходов разрушаются липидсодержащие клетки. Отделение жира обеспечивается последующим прессованием (прессово-сушильный способ) или экстракцией (прессово-экстракционный способ) [10].

Самостоятельное производство жира из отходов широко практикуются за рубежом и, как правило, осуществляется в форме химической экстракции с помощью различного рода растворителей [11], с помощью кислот [12], и наконец, путем ферментативной экстракции рыбного жира [13, 14].

Химическая экстракция – это сложный процесс, где растворители, используемые для экстракции необходимо затем отделять, что требует дополнительного расхода энергии. Кроме того, существует опасность неполного отделения токсичных растворителей, что влечет за собой возникновение рисков для здоровья [11].

Ферментативный гидролиз, или, так называемая, ферментативная экстракция, проводится с использованием таких коммерческих ферментов, как алкалаза, нейтральная протеаза, смесь папаина и бромелайна и других [12–15].

Процесс, как правило, заключается в измельчении сырья, обработке сырья ферментом в присутствии воды, инактивации фермента с последующим сепарированием сырья [16].

Ферментативный гидролиз в настоящее время по своим экологическим и технологическим показателям считается за рубежом одним из перспективных методов получения рыбного жира. По мнению иностранных авторов Carvajalab A. K., Deepika D., Julia P., Sukhinder K. C., Sheila T.; Slizytea R., Storror I. и других ферментативная экстракция с целью получения рыбного жира является "зеленым методом", так как позволяет получить высококачественный продукт, в результате достаточно простого технологического процесса с легко варьируемыми параметрами и одновременно минимизировать воздействие на окружающую среду как в отношении производства, так и в отсутствии образования токсичных продуктов [12–14].

В связи с этим актуальным направлением исследований является развитие ферментативной технологии переработки рыбных отходов с целью получения жира пищевого качества. Целью настоящей работы являлся скрининг, апробация и модификация ферментативных технологий переработки липидсодержащих рыбных отходов с целью получения рыбного жира пищевого качества. В качестве сырья для проведения исследований использованы отходы переработки сельди (*Clupea harengus*), одной из промысловых рыб Мурманского региона [17]. Для проведения гидролиза использовался ферментативный препарат микробиологического происхождения – протосубтилин Г3х, фирмы "СибБиоФарм", представлявший гигроскопичный однородный порошок светло-бежевого цвета, растворимый в воде, с протеолитической активностью 120 ед./г, разрешенный к использованию в пищевой промышленности [18]. В работе использованы современные методы физико-химических исследований в соответствии с ГОСТ 7636-85 "Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа". Построение графических зависимостей осуществляли с помощью программ Microsoft Office Excel 2007. Полученный рыбный жир подвергался исследованиям по показателям безопасности в соответствии с установленными требованиями [19].

Проведенная работа позволила проанализировать различные режимы и условия процессов ферментативного извлечения жира. Установлены и обоснованы оптимальные условия извлечения жира из отходов переработки сельди для конкретных ферментных систем. Сравнительное исследование качества образцов рыбного жира, полученного традиционным тепловым способом и образцов, полученных по установленным и обоснованным оптимальным режимам ферментативной экстракции, показали несомненное преимущество ферментативной обработки, как в отношении качественных характеристик

полученного рыбного жира, так и в отношении длительности, энергозатратности и других характеристик технологического режима процессов.

Проведенные исследования свидетельствуют о перспективности внедрения технологий ферментативной конверсии рыбных отходов, обеспечивающих высокий выход рыбного жира пищевого качества при значительной оптимизации технологических режимов переработки липидсодержащих отходов.

### **Библиографический список**

1. Артюхова, С. А. Технология продуктов из гидробионтов / С. А. Артюхова, В. Д. Богданов, В. М. Дацун [и др.]. – М.: Колос, 2001. – 496 с.
2. Единые нормы отходов, потерь, выхода готовой продукции и расхода сырья при производстве пищевой продукции из морских гидробионтов Утв. 29.04.2002 г. – М.: Госкомрыболовство, 2002. – 105с.
3. Баранов, В. В. Технология рыбы и рыбных продуктов: учебник для вузов / В.В. Баранов, И. Э. Бражная, В. А. Гроховский [и др.]; Под ред. А. М. Ершова. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 344 с.
4. Боева, Н. П. Технология рыбы и рыбных продуктов. Кормовые и технические продукты из водных биологических ресурсов / Н. П. Боева, О. В. Бредихина, А. И. Бочкарев. – М.: Изд-во ВНИРО, 2008. – 118 с.
5. Бредихина, О. В. Безотходная технология при производстве продукции из гидробионтов / О. В. Бредихина, А. И. Бочкарев, Е. И. Шкода // Тезисы научно-практической конференции "Водные биоресурсы России: решение проблем их изучения и рационального использования". – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 144с.
6. Мукатова М. Д., Тхи Ч. Н. Способ получения биодизеля из жиросодержащих рыбных отходов методом проведения реакции переэтерификации / М. Д. Мукатова, Ч. Н. Тхи // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 1. – С. 152–156.
7. Гурин, И. С. Биологически активные вещества гидробионтов – источник новых лекарств и препаратов / И. С. Гурин, И. С. Ажгихин. – М.: Наука, 1981. – 136 с.
8. Tavazzi L., Maggioni A. P. Effect of n-3 polyunsaturated fatty acids in patients with chronic heart failure (the GISSI-HF trial): a randomised, double-blind, placebo-controlled trial // Lancet. 2008. Vol. 372(9645). P. 1223–1230.



9. Боева Н. П., Бредихина О. В. Бочкарев А. И. Технология рыбы и рыбных продуктов. Кормовые и технические продукты из водных биологических ресурсов. – М.: Изд-во ВНИРО, 2008. – 118с.
10. Технология рыбы и рыбных продуктов / Под ред. Ершова А. М. – СПб.: ГИОРД, 2006. – 720с.
11. Sayyad R., Ghomi M. Evaluation of fatty acid profile, color characteristics, oxidative quality and stability of common Kilka (*Clupeonella cultriventris caspia*) oil obtained by various extraction techniques // *Journal of Food Scientists and Technologists*. 2017. Vol. 54(6). P. 1377–1383.
12. Ramakrishnan V. V., Brooks M. S., Budge S. M. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review // *Journal of microbial and biochemical technology*. 2013. Vol. 5(4). P. 107–129.
13. Ramakrishnan V. V., Ghaly A. E., Brooks M. S. Extraction of Oil from Mackerel Fish Processing Waste using Alcalase Enzyme // *Enzyme Engineering*. 2013. Vol. 2(2). P. 56–68.
14. Carvajalab A. K., Slizytea R., Storrø I. Production of high quality fish oil by thermal treatment and enzymatic protein hydrolysis from fresh Norwegian spring spawning herring by-products // *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2014. Vol. 23(6). P. 807–823.
15. Цибизова М. Е., Язенкова Д. С., Акимова А. Ю. Ферментация костной ткани рыбного сырья как один из этапов получения структурообразователей / М. Е. Цибизова, Д. С. Язенкова, А. Ю. Акимова // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та*. – 2010. – № 2. – С. 144–149.
16. Цибизова М. Е. Технология протеолитических ферментов широкого спектра действия из внутренних органов прудовых видов рыб / М. Е. Цибизова // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та*. – 2004. – № 2. – С. 119–123.
17. Береговая рыбопереработка в мурманской области: общее состояние и перспективные направления для развития [Электронный ресурс] / URL: <http://helion-ltd.ru/spective-directions-fo-development/> (дата обращения: 16.11.2017).
18. Ферментный препарат Протосубтилин [Электронный ресурс] / URL: <http://www.sibbio.ru/catalog/ptitsevodstvo/protosubtilin/> (дата обращения: 17.09.2017).
19. Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (ТР ТС – 021/2011) [Электронный ресурс]. – Введ. 2011-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2013. – 196 с.

## Методы извлечения внеклеточных полимерных веществ из активного ила

**Легостаева А. С., Васильева Ж. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы извлечения внеклеточных полимерных веществ (ВПВ) из микроорганизмов активного ила (АИ). В настоящее время вопрос выделения ВПВ из биомассы АИ представляет собой большой научный интерес, однако до сих пор отсутствует единое мнение относительно возможностей и эффективности методик извлечения ВПВ.

**Abstract.** The aim of the article is to consider the currently known methods for extraction of extracellular polymeric substance from activated sludge. At present, the problem of extracellular polymeric substance extraction from biomass of active sludge is a great scientific interest. However, there is still no consensus on the possibilities and effectiveness of methods for extracting extracellular polymeric substance.

**Ключевые слова:** внеклеточные полимерные вещества, избыточный активный ил, извлечение внеклеточных полимерных веществ, экстрагирование внеклеточных полимерных веществ, биофлокулянты.

**Keywords:** extracellular polymeric substances, excess active sludge, extraction of extracellular polymeric substances, biofloculants.

Внеклеточные полимерные вещества, также называемые внеклеточными полимерами или внеклеточным полимерным матриксом – это биогель (слизь), выделяемый микроорганизмами в окружающую среду в процессе жизнедеятельности. Представляет собой биополимерную слизистую субстанцию, в состоянии вязкого коллоидного раствора, состоящую из различных типов органических макромолекул, таких как полисахариды, протеины, нуклеиновые кислоты, фосфолипиды и другие полимерные соединения [1–4].

ВПВ составляют от 50 % до 90 % общего органического вещества микробной суспензии. Функционально оболочка, состоящая из ВПВ, защищает флокулообразующие бактерии от воздействия загрязняющих веществ и от поглощения микроорганизмами следующего трофического уровня, а также способствует абсорбции загрязняющих веществ и сохраняет плотность структуры хлопьев активного ила, способствуя его качественному отделению от осветленной воды [3, 5, 6, 7].

Благодаря своим уникальным свойствам ВПВ нашли применение в пищевой отрасли (в качестве пищевых добавок с гелеобразующими, стабилизи-

рующими свойствами), фармацевтической отрасли (в качестве пробиотиков) и других отраслях (в том числе, как поверхностно-активные вещества и эмульгаторы). Одним из актуальных направлений использования ВПВ является биоремедиация, очистка питьевых и сточных вод. Основным достоинством использования внеклеточных полимерных веществ в очистке сточных вод является отсутствие вторичного загрязнения очищаемых сред и экологическая чистота осадков, получающихся при такой обработке [8–10].

В последнее время появляется множество исследований о методах извлечения ВПВ, при этом большинство работ связаны с извлечением ВПВ из биомассы специально культивированных штаммов микроорганизмов [11–13]. Использование искусственно культивированных штаммов для получения ВПВ в настоящее время достаточно дорого и энергозатратно [11–13], в тоже время существует малоиспользуемый ресурс получения этих востребованных продуктов микробиологического синтеза – избыточный активный ил. Активный ил (АИ) – это сообщество микроорганизмов различных таксономических групп организмов, в том числе и продуцирующих внеклеточное полимерное вещество для собственного жизнеобеспечения в процессе биологической очистки сточных вод [13, 14]. В процессе аэробной очистки сточных вод образуется значительное количество избыточного АИ, являющегося в настоящее время крупнотоннажным отходом, переработка и утилизация которого зачастую более трудоемка, чем процесс очистки вод [15]. Таким образом, избыточный активный ил является многотоннажным ресурсом, не требующим создания энергозатратного специального производства по его получению, в тоже время возможность его переработки и использования позволила бы решить проблемы его размещения и утилизации. В этой связи актуальной научно-технической задачей является поиск, анализ, создание и адаптация технологий извлечения ВПВ из избыточного АИ.

Существует немало методов экстракции EPS из разных бактериальных культур, выращенных в различных средах и различных типах осадков сточных вод (активированных / гранулированных и аэробных / анаэробных) (табл. 1). Методы экстрагирования ВПВ включают различные физические (нагрев, центрифугирование, обработка ультразвуком, катионообменная смола), химические методы с использованием экстрагентов, осадителей и прочих реагентов (этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), этанол, щелочной – NaOH, кислотный – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, трихлоруксусная кислота, кипящий бензол, краун-эфир, ферменты, глутаральдегид, сульфид и обработка NaCl)

и сочетание как физических, так и химических методов (использование подщелачивания и нагревания, ионного обмена и кавитации и др. методы). Разными авторами были проведены выбор и оценка различных физических и химических методов извлечения ВПВ из микроорганизмов активного ила [1, 2, 9, 16–19], анализ результатов этих работ приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Методы экстрагирования внеклеточных полимерных веществ активного ила

	<b>Методы</b>	<b>Принцип действия</b>	<b>Примечание</b>
<b>Физические</b>	Центрифугирование	ВПВ отделяется от поверхности клетки и переходит в раствор под действием центробежных сил	Используется для экстракции растворимой фракции ВПВ. Сравнительно малый лизис клеток. Незначительное извлечение связанных ВПВ
	Температурная обработка	Усиленное молекулярное движение приводит к ускорению растворения ВПВ	Значительный лизис.
	Ультразвук	Отделение ВПВ под действием кавитации создаваемой ультразвуком	Эффективная и мягкая дезинтеграция иловых хлопьев и выделение ВПВ. Наиболее популярный метод извлечения
	Ультразвук/ Центрифугирование	ВПВ переходит в раствор под действием кавитации, создаваемым ультразвуком и центробежной силой	Эффективная и мягкая дезинтеграция иловых хлопьев и выделение ВПВ. Широко используемый метод
<b>Химические</b>	Кислоты	Ослабляет силы притяжения между ВПВ и клетками, с последующим отделением ВПВ от поверхности клетки	Эффективная дезинтеграция иловых хлопьев. Лизис или нарушение работы клеток.
	Щелочи	Щелочная обработка с добавлением NaOH вызывает ионизацию карбоксильных групп, что приводит к сильному отталкиванию между ВПВ и клетками, и приводит к растворению ВПВ в воде	Эффективен для экстракции связанных с алюминием ВПВ. Лизис клеток и разрушение макромолекул
	Катионообменная смола	Смола удаляет двухвалентные катионы, что приводит к отделению ВПВ	Высокая эффективность экстрагирования и низкий лизис клеток. Хорошо подходит для выделения

**Международная научно-практическая конференция  
"Наука и образование в Арктическом регионе"**

			Ca и Mg связанных ВПВ
--	--	--	-----------------------

Окончание табл. 1

Методы		Принцип действия	Примечание
	Краун-эфир	Краун-эфир используется для связывания двухвалентных металлов и разрушает связи между ВПВ и клетками	Эффективная дезинтеграция активного ила
	ЭДТА	Удаление двухвалентных катионов с использованием ЭДТА приводит к распаду матрицы ВПВ	Высокая эффективность экстракции и низкая степень клеточного лизиса. Остаточная ЭДТА может загрязнить экстрагированный ВПВ и вызывать ошибки при определении белка по методу Лоури
	Ферменты	Белковые и углеводные ферменты используются для разрушения иловых хлопьев и выделения ВПВ	Мягкий метод экстрагирования. Низкая эффективность экстрагирования
	Этанол	Денатурирует ВПВ и уменьшает связь между ВПВ и клетками	Мягкий метод экстрагирования. Часто используемый метод
	Глутаральдегид	Глутаральдегид фиксирует клетку и денатурирует ВПВ	Мягкий метод экстрагирования. Низкая эффективность экстрагирования
	НСНО/NaOH	Добавление НСНО снижает лизис клеток, вызванный обработкой NaOH	Формальдегид может фиксировать клетку и, таким образом, предотвращать лизис клеток, взаимодействуя с функциональными группами белков и нуклеиновых кислот. Доза НСНО может изменять характеристики ВПВ и влиять на определение углеводов
	NaCl	Использование высокой концентрации NaCl способствует катионному обмену	Мягкий, эффективный и дешевый метод
	NH <sub>4</sub> OH/EDTA	Сочетает методы кислотно-щелочного регулирования и ионного обмена для увеличения эффективности экстрагирования. Использование сильной щелочи, такой как NH <sub>4</sub> OH, снижает клеточный лизис	Эффективная дезинтеграция активного ила
	Сульфиды	Добавление сульфида удаляет Fe путем формирования FeS,	Высокая селективность для Fe-связанных ВПВ

		что приводит к распаду структуры хлопьев активного ила	
--	--	--	--

Изучение результатов вышеуказанных работ показало, что существует немаловажная проблема влияния внутриклеточных компонентов, выделяющихся при разрушении клетки, на результаты экстракции ВПВ. Решение этой проблемы заключается в выборе наиболее подходящих способов обработки, которые снизят или исключат лизис клетки. Таким решением могут выступать модифицированные методы, которые включают в себя поэтапное отделение различных фракций ВПВ, которые обеспечивают незначительный лизис клеток.

Проведенный анализ литературных и патентных источников показал, что до сих пор не существует универсального метода извлечения ВПВ из различных микробных суспензий или активного ила. Не существует ни одного способа экстракции ВПВ, который может демонстрировать высокую эффективность без нежелательного клеточного лизиса и нарушения различных компонентов или макромолекул ВПВ. Количественный выход ВПВ при этом в значительной степени зависит от метода извлечения [20]. Преимуществом относительно эффективности извлечения по количественному выходу обладают химические методы, в отличие от физических. Но при этом проблемой химических методов экстракции является загрязнение извлеченного экстракта использованными в качестве экстрагента химическими веществами, высокая вероятность изменения состава ВПВ вследствие химической реакции взаимодействия с экстрагентом [19]. Однако, несмотря на низкий выход экстракта ВПВ у физических методов, они извлекают гораздо больше молекул с высокой молекулярной массой, чем химические методы [16]. При этом эффективность методов экстракции включает в себя показатели выхода экстракции, лизиса клеток, переноса химических веществ из экстракционного раствора в экстракт ВПВ.

Изучение существующих исследовательских, аналитических материалов, показало, что существуют разнообразные методы, различные подходы и оценки вопроса извлечения ВПВ из микробных суспензий и избыточного активного ила, это диктует необходимость развития данного направления исследований в отношении разработки оптимальных технологий извлечения, которые позволят снизить или исключить повреждение эффективных в отношении флокуляции молекул ВПВ, уменьшить загрязнение извлечен-

ного экстракта использованными в качестве экстрагента химическими веществами.

### Библиографический список

1. Platt, R. M., Geesey, G. G., Davis, J. D., White, D. C. Isolation and partial chemical analysis of firmly bound exopolysaccharide from adherent cells of a freshwater sediment bacterium // *Can. J. Microbiol.*, 1985. Vol. 31, p. 675–680.
2. Frølund, B., Palmgren, R., Keiding, K., Nielsen, P.H. Extraction of extracellular polymers from activated sludge using a cation exchange resin//*Wat. Res.*, 1996. 30. p. 1749–1758.
3. Wingender J., Thomas R. N., Flemming H.-C. *Microbial Extracellular Polymeric Substances: Characterization, Structure and Function.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999. p. 258.
4. Staudt, C., Horn, H., Hempel, D.C., Neu, T.R. Volumetric measurements of bacterial cells and extracellular polymeric substance glycoconjugates in biofilms // *Biotechnol. Bioeng.*, 2004. Vol. 88, p. 585–592.
5. Flemming, H. C., Wingender, J., Griebe, T., Mayer, C. *Physico-Chemical Properties of Biofilms.*//CRC Press, 2000. p. 20.
6. Donlan, R. M. Biofilms: microbial life on surfaces // *Emerging Infect. Dis.*, 2002. Vol. 8, p. 881–890.
7. Donlan, R. M., Costerton, J. W. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms // *Clin. Microbiol.*, 2002. Vol. 15, p. 167–193.
8. Готшлак, Г. *Метаболизм бактерий* / Г. Готшлак. – М.: Мир, 1982. – 310 с.
9. Tapan, K. S. *Microbial Extracellular Polymeric Substances: Production, Isolation and Applications* // *Journal of Pharmacy.* Mar.-Apr. 2012, pp: 276–281.
10. Sheng, G. P., Yu, H. Q., Yu, Z. Extraction of the extracellular polymeric substances from a photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas acidophila* // *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2005. Vol. 67, p. 125–130.
11. Bhaskar, P. V., Bhosle, N. B. Bacterial extracellular polymeric substances (EPS): a carrier of heavy metals in the marine food-chain // *Environment International*, 2006. Vol 32, p. 191–198.
12. Zhong, L., Shan, Z., Heng-yi, L., Ruo-wei, C., Qiang, Y., Hua-Liang, L. Production of a novel biofloculant by *Bacillus licheniformis* X14 and its appli-

cation to low temperature drinking water treatment // *BioresourceTechnology*, 2009. p. 7.

13. Сироткин А. С., Шагинурова Г. И, Ипполитов К. Г. Агрегация микроорганизмов: флокулы, биопленки, микробные гранулы / Сироткин А. С., Шагинурова Г. И., Ипполитов К. Г. – Казань: Изд-во "ФЭН" АН РТ. 2007. – 160 с.

14. Ксенофонтов, Б. С. Интенсификация процессов очистки воды с использованием биофлокулянта [текст]/ Б.С. Ксенофонтов // *Безопасность жизнедеятельности*. – 2009. – № 10. – С. 18–20.

15. Гудков, А. Г. Биологическая очистка городских сточных вод: учебное пособие/ А.Г. Гудков. – Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127 с.

16. More T. T., Yadav J. S. S., Yan S. Extracellular polymeric substances of bacteria and their potential environmental applications // *Journal of Environmental Management*, 2014. p. 25.

17. Comte, S., Guibaud, G., Baudu, M. Relations between extraction protocols for activated sludge extracellular polymeric substances (EPS) and EPS complexation properties: part I. Comparison of the efficiency of eight EPS extraction methods // *Enzyme Microb. Technol.*, 2006. p. 38.

18. Sheng, G. P., Yu, H. Q., Li, X. Y. Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems // *Biotechnol. Adv.*, 2010. p. 28.

19. Nomura, T., Araki, S., Nagao, T., Konishi, Y. Resource recovery treatment of waste sludge using a solubilizing reagent // *Cycles Waste Manage*, 2007. Vol. 9, p. 34–39.

20. Li, X. Y., Yang, S. F. Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge // *Water. Res.*, 2007. Vol. 41, p. 1022–1030.



## Актуальные направления реабилитации нефтезагрязненных почв

**Павлов А. В., Васильева Ж. В.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности, sane32@list.ru)

**Аннотация.** В настоящей работе проанализированы методы реабилитации нефтезагрязненных почв с использованием ресурсного потенциала отходов промышленности. Исследована возможность использования рекультивантов на основе отходов производств Мурманской области для реабилитации загрязненных мазутом почв в условиях Арктического климата.

**Abstract.** Methods of rehabilitation of oil contaminated soils using the resource potential of waste from industry are analyzed. The possibility of using biosorbents on the basis of waste products from the Murmansk region for the rehabilitation of soil contaminated with fuel oil in the Arctic climate is investigated.

**Ключевые слова:** мазут, реабилитация нефтезагрязненных почв, ремедиация, фитотестирование.

**Keywords:** fuel oil, rehabilitation of oil-contaminated soils, remediation, phytotesting.

Современный уровень развития промышленности не позволяет полностью отказаться от использования нефти и нефтепродуктов, несмотря на широкое применение электроэнергии в качестве альтернативы углеводородному топливу. Поэтому загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами по-прежнему остается одной из важнейших проблем охраны окружающей среды. Особенно остро проблема стоит для районов Арктической зоны. Это обусловлено тем, что почвы Крайнего Севера обладают низкой биогенностью, а, следовательно, и низким потенциалом самоочищения, что делает их довольно уязвимыми в случае возможного загрязнения [1].

Особое значение в исследованиях, касающихся воздействия нефти и нефтепродуктов на окружающую среду, занимает проблема выбора метода рекультивации нефтезагрязненных почв, поскольку природные условия Арктической зоны имеют свои особенности. В основном это связано с продолжительным зимним периодом, когда большую часть земной поверхности занимает значительный снежный покров, препятствующий доступу рекультивантов к загрязненной нефтью почве, а низкие температуры воздуха влияют на агрегатное состояние нефтепродуктов и почвы, значительно замедляя процесс реабилитации.

Существующие подходы к реабилитации нефтезагрязненных почв могут быть классифицированы на категории *ex situ* и *in situ* [2]. Технологии *ex situ* включают в себя обязательное удаление почвы с определённого участка и последующую транспортировку её на площадку обработки и складирования, а технологии *in situ* применяются непосредственно на месте загрязнения. В зависимости от выбранного подхода к реабилитации нефтезагрязненных почв применяются механические, физико-химические и биологические методы рекультивации нарушенных земель.

Выбор метода рекультивации обусловлен спецификой загрязнителя, почвенно-климатическими условиями, степенью нарушения земель и многими другими факторами. Во всех случаях определяющим компонентом выбора является применение эко-системного подхода, главной целью которого является не восстановление структурных характеристик природных объектов, загрязненных нефтепродуктами, а восстановление ведущих природных функций, таких как энергетический баланс, биогеохимический цикл, гидрологические характеристики, поддержание местообитания биологических видов и устойчивость ландшафтов и др.

Перспективным методом реабилитации нарушенных земель является использование рекультивантов, материалов, усиливающих нефтеокисляющую способность почв и последующее восстановление почвенно-растительного покрова [3]. Применение рекультивантов исключает возможность дополнительного загрязнения химическими реагентами, не ведет к необходимости сбора и утилизации использованных сорбционных материалов, не приводит к истощению почвенного слоя, а высокое содержание азота, фосфора и других питательных элементов в составе многих рекультивантов обеспечивает активизацию аборигенной микрофлоры почв, ускоряет процессы самовосстановления почв.

В рамках данного направления в последние годы предложено множество перспективных методов реабилитации почв при помощи рекультивантов на основе органических компонентов отходов различных отраслей промышленности. Например, основным продуктом утилизации больших объемов отходов переработки ракообразных в Мурманской области, является хитин. Продукт конверсии хитина, хитозан, находит эффективное применение в качестве рекультиванта для нефтезагрязненных почв. Так, авторами [4] был предложен эффективный способ извлечения нефтепродуктов ремеди-

антами из загрязненной почвы. По результатам проведенных исследований отмечалось, что хитозан эффективно очищает почву, благодаря наличию в макромолекуле свободных аминогрупп. Дополнительно указывалось, что преимуществом является отсутствие необходимости сбора и утилизации "отработанного" хитозана, поскольку он способен подвергаться ферментной деструкции, повышая уровень природного почвенного углерода [4].

Также известен способ реабилитации нефтезагрязненных почв, основанный на применении органических компонентов отходов пивоварения [5], которые оказывают комплексное воздействие на почву и загрязняющие вещества. Метод заключается в использовании пивных органических компонентов отходов пивоваренной промышленности (пивной дробины), которые оказывают комплексное воздействие на загрязненную почву: улучшают физико-химические характеристики почвы; ускоряют процесс удаления загрязняющих веществ за счет внесения углеводородоокисляющих микроорганизмов и стимулирования активности аборигенных микроорганизмов почвы. Особым преимуществом данной технологии является отсутствие в органических компонентах отходов пивоварения токсичных веществ, патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов [5].

Среди современных разработок также известен метод реабилитации нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов лесозаготовительной промышленности [6]. Результаты проведенных исследований свидетельствовали о том, что опил сосновый крепко связывается с тяжелыми фракциями углеводородов нефти, и предотвращает их миграцию в другие компоненты окружающей среды в результате испарения и вымывания. Внешение его в состав загрязненных нефтью почв, позволяет обеспечить удержание углеводородов нефти, и предотвратить миграцию нефтяного загрязнения, как на незагрязненные территории, так и в другие компоненты окружающей среды.

Несмотря на широкий спектр работ в области поиска и исследований возможности использования природных рекультивантов для ликвидации нефтяных загрязнений, проблема реабилитации почв не решена и является актуальной. В то же время существует значительный ресурс в виде отходов производств, потенциал которых в отношении использования их в качестве рекультивантов до конца не исследован. Так, в качестве рекультиванта может быть использован избыточный активный ил сооружений биологической

очистки. После аэробной очистки сточных вод образуется большое количество избыточного активного ила, который подлежит утилизации. Для этого требуются дополнительные финансовые и энергозатраты. Альтернативой дорогостоящей утилизации может служить повторное его использование в качестве рекультиванта для нефтезагрязненных почв, что одновременно может решить проблемы его складирования, хранения и переработки.

Целью проводимых исследований являлись анализ возможностей и исследование эффективности использования рекультивантов на основе отходов производств Мурманской области для реабилитации нефтезагрязненных почв в условиях арктического климата.

Для достижения цели были поставлен ряд задач, который включал в себя: отбор ремедиантов для проведения исследования; оценка эффективности реабилитации нефтезагрязненных почв выбранными для исследования рекультивантами инструментальным методом с использованием анализатора жидкости "Флюорат-02"; анализ эффективности реабилитации нефтезагрязненных почв методом оценки изменения их фитотоксичности.

Для создания модели нефтезагрязненной почвы был использован мазут марки Флотский Ф-5, который является наиболее распространенным видом топлива для судов и котельных в Мурманской области. В качестве рекультивантов были использованы: избыточный активный ил (ИАИ) сооружений биологической очистки, осадочные пивные дрожжи пивоваренного производства Мурманской области (*Saccharomyces cerevisiae*), хитозан. В каждый модельный образец почвы, загрязненной мазутом, вносился один из выбранных ремедиантов. Дозы вносимых рекультивантов составляли: мелкоизмельченных хитозан (размер зерен 0,2–0,4 см) – 20 г/кг почвы, осадочные пивные дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*) 20 г/кг почвы, при этом почва дополнительно увлажнялась, рыхлилась и перемешивалась; ИАИ вносился в концентрации – 16 г/кг (по сухому веществу активного ила). Исследование проводили при температурах от 10 до 18 °С, имитирующих температурные режимы летних месяцев на Кольском полуострове. Общая продолжительность исследований составила 3 месяца.

Оценивая эффективность восстановления загрязненных мазутом почв (рис. 1) по отношению к начальному загрязнению (концентрация нефтепродуктов 15 г/кг), можно сделать вывод о том, что в данных смоделированных условиях самым эффективным из выбранных рекультивантов является из-

быточный активный ил (ИАИ) – 62 %, за ним следует хитозан (Х) – 55,3 %, менее эффективными являются дрожжи (Д) – 48,7 %.

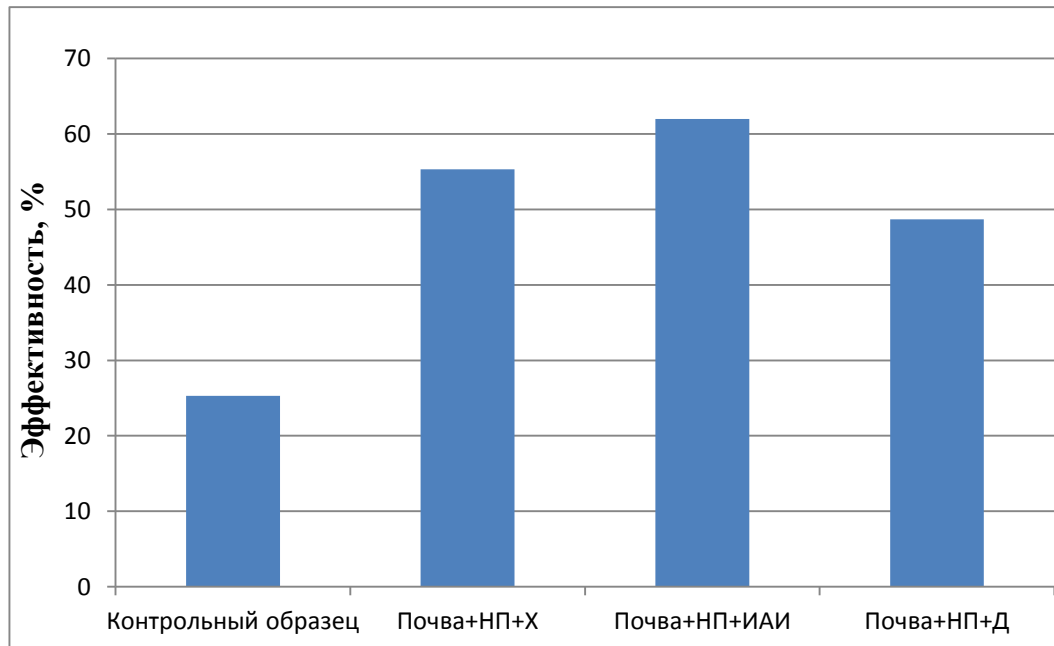


Рисунок 1 – Эффективность восстановления загрязненных мазутом почв при использовании ремедиантов

Анализ результатов фитотестирования позволил установить положительную динамику деградации нефтепродуктов в почве, при этом, все образцы нефтезагрязненных почв с внесенными рекультивантами показали значительно меньшую экофитотоксичность по сравнению с контрольными образцами почвы.

На основе проведенных исследований эффективности реабилитации нефтезагрязненных почв, выбранными для исследования рекультивантами, установлено, что такие органические отходы производств Мурманской области, как избыточный активный ил, осадочные пивные дрожжи и хитозан (как продукт конверсии хитина) могут быть успешно применимы в качестве рекультивантов нефтезагрязненных почв. Наибольшую эффективность снижения концентрации нефтепродуктов из указанных рекультивантов показал избыточный активный ил, что следует из результатов экотоксикологического фитотестирования и подтверждается результатами измерения концентрации нефтепродуктов на анализаторе жидкости "Флюорат 02-3М". Метод реабилитации, включающий использование исследованных рекультивантов, может быть рекомендован как один из способов доочистки нефтезагрязненных почв в условиях Арктического климата, характеризующийся высокой эф-

фективностью, простотой и дешевизной. Применение вышеупомянутых рекультивантов позволяет не только эффективно проводить очистку и восстановление нефтезагрязненных почв, но и использовать ресурсный потенциал отходов, снижая тем самым негативное воздействие отходов на объекты окружающей среды.

### **Библиографический список**

1. Евдокимова Г. А. Эколого-микробиологические основы охраны почв Крайнего Севера: монография / Г. А. Евдокимова. – Апатиты, 1995. – 272 с.
2. John S. Remediating polluted soils / S. John // *Naturwissenschaften*. – 2006. – P. 51–56.
3. ГОСТ Р 57447-2017 Наилучшие доступные технологии. Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Основные положения.
4. Кокорина, Н. Г. Эффективный способ очистки почв от нефтепродуктов / Н. Г. Кокорина, А. А. Околелова, А. Б. Голованчиков // *Плодородие*. – 2009. – № 6. – С. 51–53.
5. Руденко Е. Ю. Биоремедиация нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов пищевой (пивоваренной) промышленности: диссертация доктора биологических наук: 03.02.08; [Место защиты: ФГБОУ ВПО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых"] – Владимир, 2015. – 352 с.
6. Шигапов А. М. Биоремедиация нефтезагрязненных почв органическими компонентами отходов лесозаготовительной промышленности (на примере дерново-подзолистых почв Уральского федерального округа): дис. ... канд. биол. наук: 30.02.08. – Екатеринбург, 2016. – 252 с.

## Распределение химических элементов между абиотическими компонентами среды арктического горного озера в условиях техногенного загрязнения

Павлова А. С.,<sup>1</sup> Кашулин Н. А.,<sup>1</sup> Даувальтер В. А.,<sup>1,2</sup> Кашулина Т. Г.<sup>1</sup>  
(г. Апатиты, <sup>1</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук" (ИППЭС КНЦ РАН); <sup>2</sup>Апатитский филиал Мурманского государственного университета, кафедра геоэкологии)

**Аннотация.** Рассматривается распределение химических элементов между абиотическими компонентами среды (вода, донные отложения) озера Большой Вудъявр, испытывающего долговременную нагрузку в условиях горнодобывающей деятельности. Выявлены основные тренды трансформации качества вод озера. Определены уровни загрязнения донных отложений.

**Abstract.** The distribution of chemical elements into the abiotic components of the environment (water, sediments) of Lake Bolshoy Vudyavr, which is under long-term load of mining industry, is considered. The main trends in the transformation of the lake water quality are revealed. The levels of pollution of lake sediments are determined.

**Ключевые слова:** озеро, качество вод, донные отложения, металлы, химические формы элементов, коэффициент загрязнения.

**Key words:** lake, water quality, bottom sediments, metals, chemical elements forms, pollution factor.

Озеро Большой Вудъявр расположено в южной части Хибинского горного массива. Занимает впадину среди окружающих его гор в зоне северной тайги. Относится к классу малых озер (<10 км<sup>2</sup>), с площадью водной поверхности 3.9 км<sup>2</sup>, и наибольшей глубиной – 38.6 м. Питание смешанное, осуществляется за счет поверхностных и подземных вод и атмосферных осадков. В доиндустриальный период оз. Бол. Вудъявр характеризовалось низкой минерализацией (30 мг/л) и соответствовало олиготрофному ультрапресному водоему с нейтральными значениями водородного показателя [1].

Интенсивное загрязнение водоема началось в 30-х гг. XX в. с началом добычи и переработки апатитового сырья и строительством г. Кировск (Хибиногорска). Горнодобывающий комплекс АО "Апатит" на протяжении мно-

гих десятилетий является основной организацией, осуществляющей освоение минеральных ресурсов Хибин. В результате деятельности фосфорного и кислородного заводов, воды р. Юкспорйок и далее оз. Бол. Вудъявр обогащались фосфатами, азотистыми соединениями, кремнекислотой, олеиновой кислотой. Загрязнение также осуществлялось городскими хозяйственно-бытовыми сточными водами, и уже к концу 30-х гг. прошлого века произошли значительные изменения качества вод [2]. В настоящее время современные гидрохимические характеристики оз. Бол. Вудъявр определяются поступлением промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, что приводит к повышению величин минерализации и водородного показателя, вследствие увеличения концентрации щелочных и щелочноземельных металлов, концентрации макро- и микрокомпонентов химического состава, превышающих фоновые значения.

Целью данной работы является рассмотрение особенностей распределения химических веществ между абиотическими компонентами водной среды арктического горного озера Большой Вудъявр, испытывающего долговременную антропогенную нагрузку со стороны горнодобывающего комплекса АО "Апатит".

Пробы воды отбирали с помощью батометра Рутнера объемом 2.2 литра. На водоеме проводились измерения: pH, Eh, содержание растворенного кислорода и температура с помощью портативного экспедиционного прибора pH/mV-метр "WTW". Отбор проб донных отложений (ДО) проводился с помощью отборника колонок ДО открытого гравитационного типа с автоматически закрывающейся диафрагмой, изготовленного из плексигласа по образцу [3]. Колонки ДО делились на слои по 1 см для дальнейшего анализа.

Аналитические методы включали химический анализ воды и ДО, который проводился в аккредитованном Центре коллективного пользования ИППЭС КНЦ РАН (№ РОСС RU.0001.517126) по стандартным сертифицированным методикам. Анализ воды включал в себя определение pH, щелочности, ионного состава ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Si,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), формы металлов [4]. Микроэлементный состав (Al, Fe, Mn, Sr, Cu, Ni, Zn, Co, Cr и Cd) воды и ДО определялся атомно-абсорбционным методом с непламенной атомизацией на приборе Perkin-Elmer 5000 с графитовым атомизатором HGA-400. С помощью проточно-инжекционной ртутной системы FIMS-100 фирмы Perkin-Elmer определялась Hg. С использованием про-



граммного комплекса "CHEAQS" были получены формы нахождения химических элементов в водной среде оз. Бол. Вудъявр.

По водородному показателю вода в озере характеризовалась как слабощелочная (табл. 1). Минерализация составляла около 100 мг/л. Среди основных анионов и катионов преобладали гидрокарбонаты (в среднем 52 % от анионного состава) и натрий (в среднем 70 % от катионного состава). Высокое содержание биогенных элементов и их соединений привило к изменению трофического статуса водоема, который стал соответствовать мезотрофному типу с признаками эвтрофного. Поступление в водоем сточных вод горнодобывающих предприятий обуславливает повышенные концентрации главных типоморфных элементов апатитнефелиновой руды – Al и Sr (в среднем соответственно 120 и 144 мкг/л). Концентрации Fe, Mn и Cu составляют 24, 2.7 и 4 мкг/л соответственно. Содержание Ni и Zn не превышало 1.7 мкг/л, Cd, Pb, Co и Cr не более 0.3 мкг/л. Состав воды оз. Бол. Вудъявр (июль 2011 г.) имел следующий вид:

$$M \ 106 \text{ мг/л} \frac{\text{HCO}_3^-(53) \ \text{SO}_4^{2-}(27) \ \text{NO}_3^-(13) \ \text{Cl}^-(7)}{\text{Na}^+(71) \ \text{Ca}^{2+}(14) \ \text{K}^+(13) \ \text{Mg}^{2+}(2)} \ \text{pH} \ 7.84.$$

Al, Fe и Mn преимущественно находились во взвешенном состоянии, составляя 54, 68 и 79 % соответственно (рис. 1). Кроме того, доля взвешенной формы увеличивалась с глубиной до 30 % для Al, до 15 % для Mn. Медь в поверхностном слое и на глубине 15 м находилась преимущественно в растворенной форме, причем на долю лабильной приходилось 68 %, а нелабильной – 23 %, на глубине 30 м преобладала взвешенная форма элемента – 76 %. Преобладающей формой Sr была лабильная, которая составляла до 85 % от растворенной.

Алюминий преобладает в виде нерастворимых гидроксидных комплексов  $\text{Al}(\text{OH})_3 \approx 81 \%$  и  $\text{Al}(\text{OH})_4^- \approx 19 \%$  (табл. 2). Железо присутствует в виде амфотерного оксида Fe III ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \approx 100\%$ ). Марганец преимущественно преобладает в виде свободных (незакомплексованных) ионов  $\text{Mn}^{2+} \approx 61 \%$ . На долю карбонатного комплекса  $\text{Mn}(\text{CO}_3)$  приходится около 24 %. Так же небольшая доля Mn находится связанная с органическими комплексами гуминовых и фульвокислот ( $\approx 13 \%$ ). Sr превалирует в наиболее токсичной ионной форме  $\text{Sr}^{+2} \approx 77 \%$  и около 20 % присутствует в органических комплексах гуминовых и фульвокислот. Zn, Ni, Cu, Pb, Cd и Cr, по результатам моде-

лирования, преобладают с органическими комплексами гуминовых и фульвокислот от 70 до 100 %. Около 18 % Ni мигрирует в ионной форме ( $Ni^{+2}$ ). Со находится в гидроксидной форме.

Таблица 1 – Гидрохимические показатели оз. Бол. Вудъявр, июль 2011 г. Среднее / мин – макс.

Показатель, размерность	Значение	Показатель, размерность	Значение
Температура, °С	10.1 / 6.6–15.3	$SO_4^{2-}$ , мг·л <sup>-1</sup>	16 / 13.3–18.6
Кислород O <sub>2</sub> , мг/л	7.82 / 7.62–8.04	$NO_3^-$ , мкгN·л <sup>-1</sup>	2629 / 1990–3180
pH	7.84 / 7.47–8.50	$Cl^-$ , мг·л <sup>-1</sup>	3.12 / 2.56–3.52
Электропров., (20 °С), мкСм·см <sup>-1</sup>	136 / 120–150	$PO_4^{3-}$ , мкгP·л <sup>-1</sup>	325 / 277–350
Щелочность мкэкв·л <sup>-1</sup>	664 / 628–705	$NH_4^+$ , мкгN·л <sup>-1</sup>	78 / 37–118
Цветность, °	5 / 4–6	Al, мкг/г	111 / 76–202
Орг. в-во, мгС·л <sup>-1</sup>	2.4 / 2.2–2.6	Fe, мкг/г	26 / 20–34
Ок-ть перм-я, мгО·л <sup>-1</sup>	1.16 / 0.89–1.31	Mn, мкг/г	2.3 / 1.3–4.2
P <sub>общ</sub> , мкг·л <sup>-1</sup>	384 / 320–415	Sr, мкг/г	134 / 111–154
N <sub>общ</sub> , мкг·л <sup>-1</sup>	3040 / 2730–3780	Cu, мкг/г	3.2 / 1.7–8.2
Ca, мг·л <sup>-1</sup>	4.24 / 3.51–4.87	Ni, мкг/г	0.8 / 0.1–1.7
Na, мг·л <sup>-1</sup>	22.1 / 20.1–23.5	Zn, мкг/г	1.2 / 0.8–1.7
K, мг·л <sup>-1</sup>	7.19 / 6.45–7.83	Cd, мкг/г	0.04 / 0.01–0.08
Mg, мг·л <sup>-1</sup>	0.30 / 0.24–0.35	Co, мкг/г	0.2 / 0.2–0.3
Si, мг·л <sup>-1</sup>	2.42 / 1.64–3.19	Pb, мкг/г	0.06 / 0.01–0.1
$HCO_3^-$ , мг·л <sup>-1</sup>	40.5 / 38.3–43	Cr, мкг/г	0.2 / 0.2–0.2

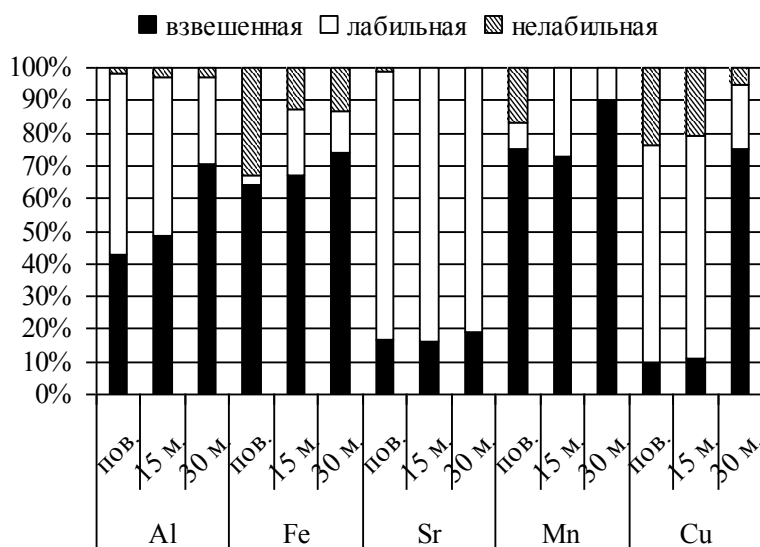


Рисунок 1 – Распределение по формам нахождения элементов в вертикале водной толщи оз. Бол. Вудъявр

Таблица 2 – Долевое (%) распределение элементов по химическим формам в воде оз. Бол. Вудъявр

Форма	Доля %	Форма	Доля %	Форма	Доля %
<i>Алюминий</i>		<i>Железо</i>		<i>Медь</i>	
Al <sup>+3</sup>	0	Fe(III) <sup>+3</sup>	0	Cu(II) <sup>+2</sup>	0
Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	18.5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (solid)	99.99	Cu(II)(OH) <sup>+</sup>	0.02
Al(OH) <sub>3</sub> (solid)	81.5	Organic(НА+ФА)Fe	0.01	Cu(II)(CO <sub>3</sub> ) (aq)	0.1
<i>Цинк</i>		<i>Стронций</i>		Organic(НА+ФА)Cu	99.87
Zn <sup>+2</sup>	3.05	Sr <sup>+2</sup>	76.68	<i>Свинец</i>	
Zn(OH) <sup>+</sup>	0.89	Sr(CO <sub>3</sub> ) (aq)	0.39	Pb <sup>+2</sup>	0
Zn(OH) <sub>2</sub> (aq)	3.57	Sr(HCO <sub>3</sub> ) <sup>+</sup>	0.66	Pb(II)(OH) <sup>+</sup>	0.1
Zn(CO <sub>3</sub> ) (aq)	1.38	Sr(SO <sub>4</sub> ) (aq)	1.74	Pb(OH) <sub>2</sub> (aq)	0.06
Organic(НА+ФА)Zn	90.99	Sr(NO <sub>3</sub> ) <sup>+</sup>	0.04	Pb(II)(CO <sub>3</sub> ) (aq)	0.29
<i>Никель</i>		Organic(НА+ФА)Sr	20.49	Pb(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	0.05
Ni <sup>+2</sup>	17.6	<i>Марганец</i>		Organic(НА+ФА)Pb	99.48
Ni(OH) <sup>+</sup>	0.65	Mn <sup>+2</sup>	60.94	<i>Кадмий</i>	
Ni(OH) <sub>2</sub> (aq)	0.16	Mn(OH) <sup>+</sup>	0.45	Cd <sup>+2</sup>	14.48
NiCO <sub>3</sub> (aq)	5.13	Mn(II)(SO <sub>4</sub> ) (aq)	1.23	Cd(OH) <sup>+</sup>	2.02
Ni(HCO <sub>3</sub> ) <sup>+</sup>	1.15	Mn(CO <sub>3</sub> ) (aq)	24.07	Cd(CO <sub>3</sub> ) (aq)	13.84
Ni(SO <sub>4</sub> ) (aq)	0.4	Mn(II)(HCO <sub>3</sub> ) <sup>+</sup>	0.65	Cd(OH) <sub>2</sub> (aq)	0.25
Organic(НА+ФА)Ni	74.89	Organic(НА+ФА)Mn	12.65	Cd(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	0.61
<i>Кобальт</i>		<i>Хром</i>		Cd(SO <sub>4</sub> ) (aq)	0.36
Co <sup>+2</sup>	0	Cr <sup>+3</sup>	0	CdCl <sup>+</sup>	0.08
Co(III)(OH) <sub>3</sub> (solid)	100	Organic(НА+ФА)Cr	100	Organic(НА+ФА)Cd	68.32

Содержание Al в донных отложениях оз. Бол. Вудъявр варьируют в диапазоне от 50 000 до 58 000 мкг/Г<sub>сух.в.</sub> (табл. 3). Накопление Fe, Mn, Ni, Zn и Co в верхних (0–3 см) слоях ДО увеличивается в 2–2,5 раза по отношению к их содержанию в нижних "фоновых" слоях. Содержание Sr в верхних слоях ДО увеличивается в 3 раза, по отношению к нижнему слою, составляя 1 348 мкг/Г<sub>сух.в.</sub> и 410 мкг/Г<sub>сух.в.</sub> соответственно. При разработке щелочных горных пород происходит массовый вынос этого металла в окружающую среду [5]. Уровень накопления Cu в слое (0–3 см) ДО возрастает в 4 раза, составляя 145 мкг/Г<sub>сух.в.</sub>, по отношению к его содержанию в нижнем слое (35.2 мкг/Г<sub>сух.в.</sub>). Накопление Pb в верхних слоях (0–3 см) в 3–3,5 раза выше, чем в нижних, составляя в среднем 18.4 мкг/Г<sub>сух.в.</sub>. Кумуляция Cd в нижних слоях составляют 0.1 мкг/Г<sub>сух.в.</sub>, в верхних слоях (0–3 см) – 0.2–0.3 мкг/Г<sub>сух.в.</sub>

Таким образом, наблюдается загрязнение верхних слоев донных отложений оз. Бол. Вудъявр практически по всем элементам: Fe, Zn, Co, Mn повышаются в 2–2,5 раза, Sr, Pb – 3–3,5 раза и Cu в 4 раза.

Таблица 3 – Содержание металлов в донных отложениях оз. Бол. Вудъявр (мкг/г<sub>сух.в.</sub>). Коэффициенты загрязнения Хаконсана (C<sub>f</sub>).

	верхний (0–3 см) слой	нижний слой	C <sub>f</sub>
Al	57747	50576	1.2
Fe	24171	19612	1.2
Mn	744	304	1.6
Sr	1348	410	3.3
Cu	145	35.2	4
Ni	48	23.8	2
Zn	190	97	2
Cd	0.3	0.1	3.8
Co	20.7	12.1	1.6
Pb	18.4	5.0	3.8
Cr	48.4	35.1	1.1
Hg	0.52	0.03	24

В условиях длительного загрязнения шахтными, производственными и коммунальными сточными водами от деятельности комплекса АО "Апатит", оз. Бол. Вудъявр претерпело значительную техногенную трансформацию, повлиявшую как на абиотические компоненты его среды, так и на биотические. Вода озера по своему типу перешла из олиготрофного в мезотрофный тип с признаками эвтрофного. По водородному показателю оз. Бол. Вудъявр из группы нейтральных вод перешло в слабощелочные воды. По составу главных ионов произошло перераспределение между  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$ : снизилась концентрация  $\text{HCO}_3^-$  (до 53%) и увеличилось содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  (до 27 %) и  $\text{NO}_3^-$  (до 13 %). Содержание основных катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  также увеличилось в воде оз. Бол. Вудъявр по сравнению с условно фоновыми значениями в 4–5 раз. Из-за высокого поступления биогенных элементов (N и P) в составе сточных вод, в озере интенсивно развиваются фито- и зоопланктон, способствуя высокой биологической продуктивности. Увеличились концентрации металлов Al, Fe, Mn, Cu и Sr.

При оценке степени загрязнения оз. Бол. Вудъявр, рассчитанные коэффициенты загрязнения C<sub>f</sub> [6] показали, что уровень загрязнения ДО по ряду химических элементов (Fe, Al, Cr, Co, Mn, Zn, Ni) характеризуется как умеренный, тогда как уровень загрязнения по Cu, Sr, Cd и Pb характеризуется как значительный. Для Hg отмечается высокий уровень загрязнения (C<sub>f</sub> = 17).

### Библиографический список

1. Ресурсы поверхностных вод СССР / под. Ред. Ю. А. Елшина. – Л.: Гидрометиздат, 1970. Т. 1. – 316 с.
2. Каныгина А. В. Биологическое и химическое исследование озер Большой и Малый Вудъявр / Кольская научно-исследовательская база АН СССР. Апатиты, 1939. – 206 с. (Фонды КНЦ РАН; № 105).
3. Skogheim O. K. As-NLH-Rept. Oslo, 1979. – № 2. – 7 p.
4. Родюшкин И. В. Формы нахождения металлов в воде озера Имандра // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского полуострова. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1995. – С. 55–64.
5. Кашулин Н. А., Денисов Д. Б., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А, Кашулина Т. Г., Малиновский Д. Н., Вандыш О. И., Ильяшук Б. П., Кудрявцева Л. П. Антропогенные изменения водных систем Хибинского горного массива (Мурманская область). Т.2. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2009. – 282 с.
6. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach // Water Res. – 1980. – V. 14. – P. 975–1001.

## Агрохимические показатели урбаноземов города Мурманска и его пригорода

**Рассказова А. С., Яшкина А. А.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра экологии, инженерных систем и техносферной безопасности)

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты определения агрохимических показателей почв города Мурманска и его пригорода. Проанализировано содержание биогенных веществ: азота, фосфора и органического вещества, а также концентрации растворимых солей: сульфаты, хлориды, карбонаты и бикарбонаты. Определено содержание ионов кальция и магния в водных вытяжках.

**Abstract.** The results of determining the agrochemical parameters of soil samples from Murmansk and its suburb. The content of biogenic substances: nitrogen, phosphorous and organic matter, also the concentrations of soil solutes (sulphates, chlorides, carbonates and bicarbonates), were analyzed in this paper. The content of calcium and magnesium ions was determined in soil-water extracts.

**Ключевые слова:** почва, урбанозем, агрохимические показатели, биогенные вещества, растворимые соли, органическое вещество.

**Key words:** soil, urbanozem, agrochemical parameters, biogenic substances, soil solutes, organic matter.

Мурманская область является одним из самых урбанизированных регионов Кольского Севера. Территория, занимаемая промышленными объектами и населенными пунктами в Мурманской области, составляет около 0,5 % площади Кольского полуострова.

Почвы – важнейший компонент экологической среды, их образование в природе происходит на протяжении десятков и сотен тысяч лет. Своеобразие и особенности почвенного покрова в значительной мере объясняются климатическими условиями [1].

Почвы Мурманской области относятся к группе полярно-бореального почвообразования. В северной части развиты почвы из класса океанического почвообразования (класс кислых неоподзолистых и поверхностно-оподзолистых тундровых почв).

Проблема загрязнения почв чрезвычайно актуальна для Мурманской области. Загрязнению подвергаются и естественные, и окультуренные сельскохозяйственные почвы. В районах области с развитым горнопромышленным комплексом (окрестности городов Мончегорск, Апатиты, Никель, Пе-

ченга) образовались геохимические аномалии техногенного происхождения. В эпицентре загрязнения в поверхностном слое почвы (0–2 см) количество никеля достигает 2,2 %, меди – 1,1 %, кобальта – 0,1 %, что превысило фоновый уровень для меди и никеля более чем в 350 раз. Для сравнения отметим, что среднее содержание никеля в руде Печенгского месторождения составляет 0,7 %. Уровень загрязнения почв металлами резко снижается по мере удаления от источника выбросов.

Городские почвы – это антропогенно измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительного-бытового мусора [2].

Общие черты городских почв:

1) материнская порода – насыпные, намывные или перемешанные грунты или культурный слой;

2) включения строительного и бытового мусора в верхних горизонтах;

3) нейтральная или щелочная реакция (даже в лесной зоне);

4) высокая загрязненность тяжелыми металлами (ТМ) и нефтепродуктами;

5) особые физико-механические свойства почв (пониженная влагоемкость, повышенная объемная масса, уплотненность, каменистость);

6) рост профиля вверх за счет постоянного привнесения различных материалов и интенсивного эолового напыления [2].

Особенности почвообразовательных процессов на городских территориях состоят в следующем: нарушение почв в результате перемещения горизонтов с природных мест залегания, деформация структуры почвы и порядка расположения почвенных горизонтов; низкое содержание органического вещества – основного структурообразующего компонента почвы; уменьшение численности популяций и активности почвенных микроорганизмов и беспозвоночных как следствие дефицита органического вещества.

В почвенном покрове города преобладают урбаноземы – почвы с нарушенным строением профиля, несогласованным залеганием горизонтов, наличием антропогенных горизонтов с высокой степенью загрязнения тяжёлыми металлами и органическими веществами, строительного и бытового мусора [2].

Для исследования были отобраны пробы почв урбаноземов из нескольких точек на территории Мурманска и пригорода: ул. Шевченко, ул. Лобова,

ул. Желтая гора, ул. Гвардейская, Фадеев ручей, город Кола. Пробы почвы были проанализированы на содержание общего азота, валового фосфора, хлоридов, сульфатов, органического вещества, валового кальция и магния, карбонатов и бикарбонатов. Также мной было установлено опытным путем значение такого важного параметра, как дыхание почвы. Для сравнения в качестве контроля был взят торфогрунт.

Результаты проведенных исследований отображены ниже в виде диаграмм и таблиц.

По содержанию общего азота наибольшее значение отмечается у торфогрунта, а наименьшее – у пробы с ул. Шевченко.

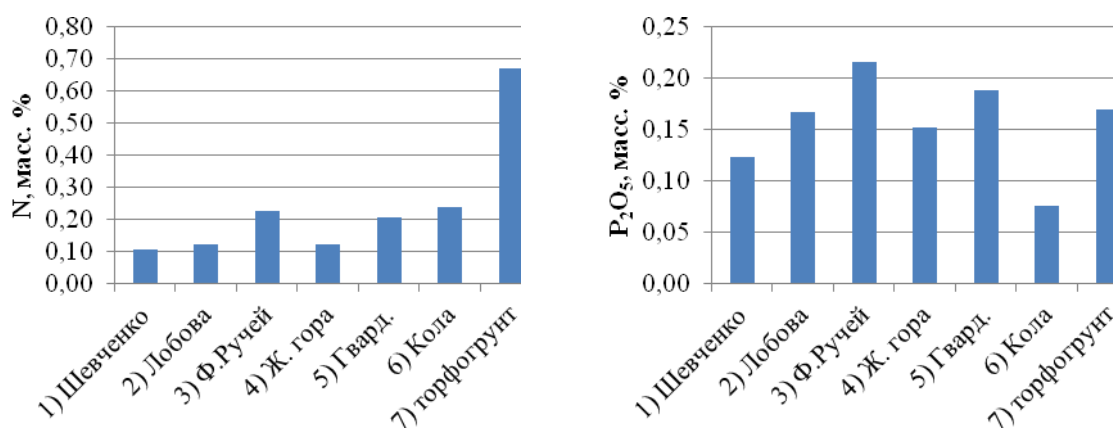


Рисунок 1 – Массовое содержание общего азота и валового фосфора в пробах почв

По содержанию валового фосфора наибольшее значение у почвы с ул. Фадеев ручей, наименьшее – у пробы из города Кола.

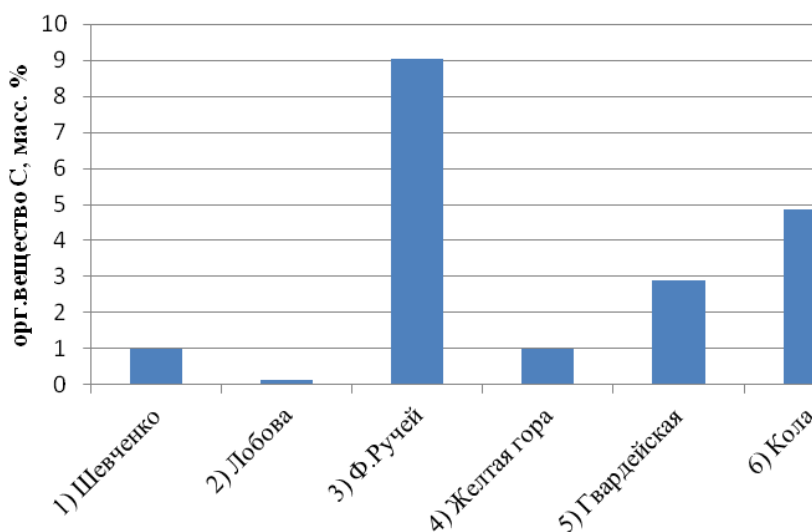


Рисунок 2 – Количество органического вещества в пробах почвы



По содержанию углерода органического вещества наибольшее значение у пробы с улицы Фадеев ручей, наименьшее – у пробы с ул. Лобова.

Анализ водных вытяжек по содержанию растворимых солей показал следующее:

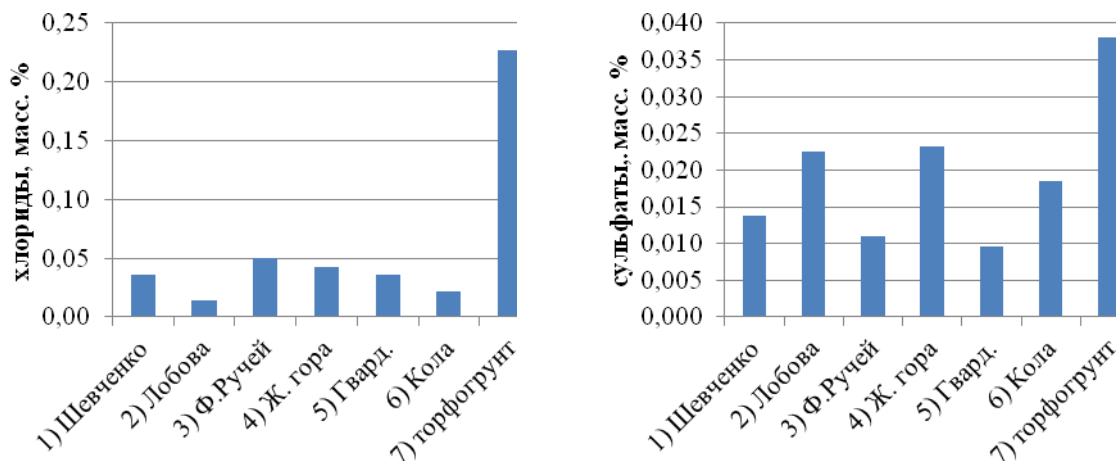


Рисунок 3 – Процентное содержание хлорид-ионов и сульфат-ионов в пробах почв

Результаты определения содержания ионов магния и кальция в водных вытяжках отображены на рис. 4.

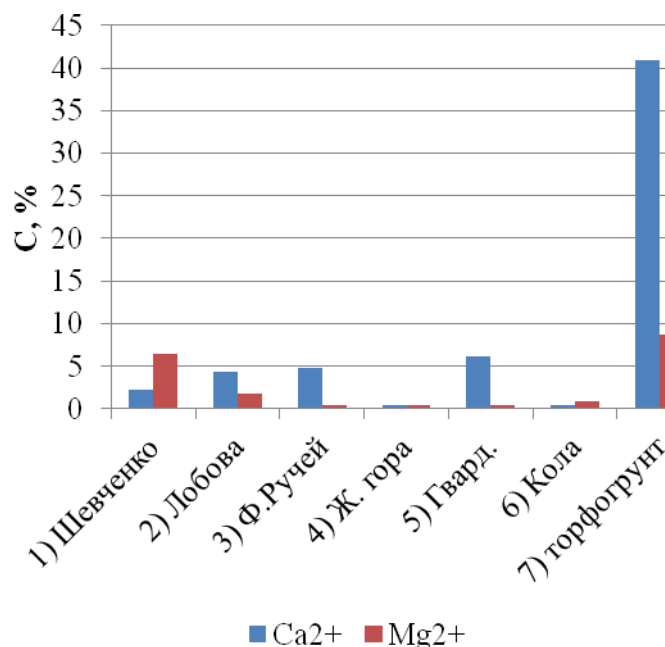


Рисунок 4 – Концентрация магния и кальция в вытяжках почв

Анализ на содержание ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке показал, что проба почвы с ул. Гвардейской более обогащена этими ионами, чем остальные пробы.

Таблица 1 – Результаты определения содержания карбонат- и бикарбонат-ионов в водных вытяжках

№ пробы	Наименование пробы	Карбонат-ионы		Бикарбонат-ионы	
		ммоль в 100 г	масс. %	ммоль в 100 г	масс. %
1	Шевченко	0,7	0,021	17,0	1,037
2	Лобова	0,7	0,021	17,0	1,037
3	Фадеев ручей	0,4	0,012	9,5	0,580
4	Желтая гора	0,7	0,021	17,0	1,037
5	Гвардейская	0,8	0,024	19,5	1,190
6	Кола	0,2	0,006	4,5	0,275

Результаты по дыханию почвы показали, что интенсивность дыхания почвы с ул. Гвардейской выше, чем в остальных пробах. Наименьшее значение отмечалось в почве города Кола.

Таблица 2 – Интенсивность дыхания почвы

№ пробы	Наименование пробы	Интенсивность дыхания почвы D, кг/га в час
1	Шевченко	2,319
2	Лобова	3,074
3	Фадеев ручей	2,534
4	Желтая гора	2,049
5	Гвардейская	4,152
6	Кола	0,539
7	Торфогрунт	2,373

В заключении стоит отметить, что по содержанию биогенных элементов наилучшее состояние у урбаноземов, отобранных в точках "Фадеев ручей" и "Гвардейская", наименьшее содержание питательных веществ отмечается в точках "Шевченко", "Желтая гора" и "Кола". По солесодержанию сульфатов максимальные значения обнаружены в точках "Лобова" и "Желтая гора". По хлоридионам наибольшее значение отмечено в точках "Лобова" и "Кола".

### Библиографический список

1. Ковриго В. П. Почвоведение с основами геологии [Текст] / В. П. Ковриго. – М.: Колос, 2000. – 416 с.
2. Городские почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://cozyhomestead.ru/Pochva\\_1813.html](http://cozyhomestead.ru/Pochva_1813.html) (Дата обращения: 15.12.2017).
3. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв [Текст] / Е. В. Аринушкина. – М.: Издательство Московского университета, 1970. – 487 с.

4. ГОСТ 26261-84 Методы определения валового фосфора и валового калия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.OpenGost.ru](http://www.OpenGost.ru) (Дата обращения: 13.11.2017).

5. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии [Текст] / В. Г. Минеев. – М. : Издательство Московского университета, 2001. – 688 с.

6. ГОСТ 23740-79 Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.OpenGost.ru](http://www.OpenGost.ru) (Дата обращения: 20.11.2017).

7. ГОСТ 26424-85 Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.OpenGost.ru](http://www.OpenGost.ru) (Дата обращения: 5.12.2017).

# **ЭНЕРГЕТИКА И ТРАНСПОРТ**

## **Конкурентоспособность арктических транспортных перевозок в условиях больших вызовов: российский и зарубежный опыт интермодальных и мультимодальных технологий перевозок**

**Агарков С. А.,<sup>1</sup> Черных А. А.<sup>2</sup>** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", <sup>1</sup>кафедра экономики и управления морехозяйственной деятельностью, <sup>2</sup>магистрант института "Морская академия")

**Аннотация.** В данной статье сформулированы понятия "логистический центр", "интермодальные перевозки", "мультимодальные перевозки"; рассмотрен российский и зарубежный опыт создания транспортно-логистических центров.

**Abstract.** In this article the concepts "logistic center", "intermodal transportations", "multimodal transportations" are formulated; the Russian and foreign experience of creation of the transport-logistic centers is considered.

**Ключевые слова:** интермодальная перевозка, мультимодальная перевозка, логистический центр, мультимодальный транспортно-логистический центр (МТЛЦ) транспортная система Российской Федерации, регионально-распределительные центры, международный транспортный коридор (МТК).

**Key words:** intermodal transportation, multimodal transportation, logistic center, multimodal transport and logistic center (MTLC) transport system of the Russian Federation, regional distribution centers, international transport corridor (ITC).

В условиях усиления глобальной конкуренции, охватывающей рынки товаров, услуг, капиталов и других факторов экономического роста, идет структурная перестройка мирового хозяйства, где перед российской экономикой стоит задача перехода от экспортно-сырьевого к инновационному социально ориентированному типу развития.

Существенным ограничением, снижающим потенциал роста национальной экономики, является недостаточная развитость российской транспортной системы, что требует при переходе к интенсивному инновационному развитию принятия на государственном уровне адекватных времени и большим вызовам решений по развитию транспортного комплекса страны и регионов на долгосрочную перспективу.

При этом следует учитывать, с одной стороны, внешние и внутренние условия и преимущества, связанные с географическим положением (превраща-

щение географических особенностей России и ее приграничных регионов в конкурентное преимущество). С другой стороны, важно использовать передовой международный опыт в организации транспортной логистики и самые передовые технологии (технико-технологические решения), позволяющие обеспечивать международную конкурентоспособность транспортных услуг, что в полной мере соответствует стратегическим целевым задачам интеграции России в мировое транспортное пространство, обозначенным в транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г., и максимальной реализации транзитного потенциала страны [1, 2].

Такая интеграция требует системных структурных преобразований национальной транспортной системы, ориентированных на обеспечение мирового уровня транспортной логистики, где выдвигаются новые требования к надежности функционирования транспортных систем на принципах "точно в срок" и "от двери до двери", а качество доставки оценивается по принципу "5С": скорость, сервис, стоимость, сохранность, стабильность.

Понятия "интермодальной перевозки" и "мультимодальной перевозки" предполагают участие нескольких видов транспорта в процессе транспортировки грузов. Транспортировка в одной грузовой единице или транспортном средстве с применением различных видов транспорта называется интермодальной перевозкой. Мультимодальная перевозка – это перевозка грузов по меньшей мере двумя различными видами транспорта.

Мировые тенденции в развитии транспорта свидетельствуют, что рынок транспортных услуг стал усложняться, все сегменты транспортного процесса и логистики стали интегрироваться. Это привело к развитию транспортной инфраструктуры нового типа – транспортно-логистическим комплексам, которые образовали объединенную систему взаимодействия.

Транспортные центры стали управляющими элементами системы, что позволяет оптимизировать стоимость перевозки на всем пути следования. Таким образом, произошел переход точки прибыльности от процессов физической перевозки в область транспортно-логистических услуг. Трансформировалось понятие транспортных коридоров, которые из совокупности маршрутов превратились в систему управляющих центров перевозок и транспортных узлов.

Таким образом, интеграционные процессы в условиях глобализации мировой экономики создают организационно-экономические предпосылки

для формирования и развития интегрированных транспортно-логистических систем на региональном, межрегиональном и международном уровнях.

Важнейшим системообразующим элементом транспортно-логистической инфраструктуры являются транспортно-логистические (мультимодальные) центры.

Важно подчеркнуть, что с учетом огромной территории нашей страны пространственные аспекты хозяйствования играют особую важность и во многом определяют производственно-экономическую эффективность и конкурентоспособность социально-экономических систем регионов и страны в целом.

Изучение работ современных зарубежных экономистов (М. Портера, П. Кругмана, Д. Майлата), связанных с теорией и практикой организации экономического пространства, позволяет сделать вывод о том, что в современной экономике традиционное деление на секторы или отрасли утрачивает свою актуальность [7, 8]. На первое место выходят кластеры, которые формируются, по мнению нобелевского лауреата П. Кругмана, исходя из "совокупной причинной обусловленности" (cumulative causation), суть которой заключается в том, что компании стремятся в наиболее концентрированное экономическое пространство, а пространство имеет тенденцию к концентрации в местах наибольшего расположения фирм. При этом, по мнению П. Кругмана, в качестве основы экономического освоения регионального пространства большее значение имеет развитость региональной системы коммуникаций и доступ к рынку, чем эффект от масштаба производства, транспортных издержек или мобильности факторов [9].

С таких позиций регион должен рассматриваться не в рамках географических границ, а как сложная открытая социально-экономическая система, имеющая экономическую и технологическую составляющие, что предполагает в рамках региональной стратегии развития (пространственной организации регионального хозяйства) создание условий для формирования интегрированных в открытую (национальную, глобальную) экономику кластеров и агломераций.

Основными кластерами Мурманской области являются транспортно-логистический, морехозяйственный, сервисный, нефтегазохимический, горнохимический и металлургический, рыбохозяйственный, туристско-рекреа-

ционный, научно-образовательный. Развитие первых двух непосредственно связано с арктическими проектами, деятельность остальных сможет косвенно способствовать освоению Арктики, но должна напрямую повлиять на социально-экономическое развитие региона. Специфика и типология кластеров обусловлена специализацией и профилем региональной экономики.

Ключевым элементом и одной из наиболее важных задач развития экономического потенциала России на арктическом региональном направлении является развитие Северного морского пути (СМП), как для внутрироссийских, так и международных перевозок.

Для реализации концепции превращения СМП в мировую торговую артерию необходимы не только значительные объемы инвестиций в инфраструктуру, развитие качества сервиса, но и изменения в политике тарифообразования, строительство ледокольного флота, способного обеспечить рентабельность коммерческих перевозок, которая предполагает возможность осуществлять проводку судов дедвейтом 70 тыс. т и выше (действующий ледокольный флот способен осуществлять проводку судов дедвейтом не более 40 тыс. т).

Главной целью развития СМП является не превращение его в альтернативу Суэцкому каналу, что с учетом рисков и угроз (в том числе угрозы ледового сжатия) арктического судоходства, ограниченных сроков навигации, повышенных требований к техническим характеристикам судов (ледовый класс) приведет к удорожанию транспортировки грузов, а превращение СМП в современную транспортную артерию, интегрированную в мировые транспортные коридоры и обеспечивающую выход в глобальную экономику изолированным российским северным территориям.

Проект "Комплексное развитие Мурманского транспортного узла" (МТУ), на наш взгляд, следует рассматривать в модели создания интермодального (мультимодального) транспортно-логистического центра (МТЛЦ), что позволит обеспечить стыковку российских коммуникаций с системой международных транспортных коридоров и оптимизировать взаимодействие различных видов транспорта. В результате произойдет переориентация транзитных грузопотоков мировых торговых рынков стран Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), что позволит увеличить транзитный потенциал и доходы от экспорта транспортных услуг.



Вместе с тем, следует отметить, что в настоящее время активно осуждается вопрос транспортной интеграции стран Европейского Союза в Евроарктический транспортный коридор (ЕАТК), проходящий от Балтийского моря через территории Финляндии, Швеции, Норвегии по направлению к городу Киркенес и выходу к Северному морскому пути (СМП), что предполагает глобальную конкуренцию за арктический транзит по трасам СМП.

В таких условиях в рамках стратегических задач национальной транспортной политики по реализации транзитного потенциала страны и роста экспорта транспортных услуг необходима консолидация усилий заинтересованных сторон (власти, бизнеса, научно-образовательных и профессионально-общественных организаций) в обеспечении международной конкурентоспособности МТУ, как стратегически значимой части транспортной системы России на арктическом региональном направлении.

Ориентируясь на эту долгосрочную цель, необходима активная государственная политика (в том числе государственное стимулирование), направленная на системное поэтапное повышение качества транспортных услуг, интеграцию технологий транспортного обслуживания, рост конкурентоспособности перевозчиков и операторов транспортных узлов, что определяет необходимость, в том числе развития мультимодальных и интермодальных перевозок, действенную заинтересованность со стороны государства, бизнеса и общества в создании современных конкурентоспособных ТЛЦ. Это позволит повысить конкурентоспособность национальной и региональной (арктической) экономики, обеспечить качество жизни населения через доступ к безопасным и качественным транспортным услугам, будет способствовать превращению географических особенностей России в ее конкурентное преимущество с точки зрения максимального использования транзитного потенциала и экспорта транспортных услуг.

### **Библиографический список**

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. (в ред. Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 г. № 1032-р). – М., 2014. – 256 с.
2. Федеральная целевая программа "Развитие транспортной системы России (2010–2021 гг.) (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 05 декабря 2001 г. № 848).

3. Логистика: управление на грузовых транспортно-логистических системах: учеб. пособие / под ред. д-ра техн. наук Л. Б. Миротина. – М.: Юрист, 2002. – 414 с. [Электронный ресурс] : <http://eclib.net/6/28.html>.
4. Карабасов, И. С. Мультимодальные перевозки / И. С. Карабасов, К. Х. Кушукбаев, А. К. Кушукбаев. – Алма-Ата, 2002. – 158 с.
5. Мультимодальные транспортно-логистические центры : учеб. пособие / Е. В. Мысник. – Иркутск: ИрГУПС, 2016. – 88 с.
6. Григорьев, М. Н. Логистика. Базовый курс: учебник / М. Н. Григорьев, С. А. Уваров. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 782 с.
7. Портер, М. Международная конкуренция. – М.: Международные отношения, 1993. – 378 с.
8. Портер, М. Конкуренция. – М.: Издательский дом Вильямс, 2001. – 215 с.
9. Кругман, П. Р. Пространственная экономика: города, регионы и международная торговля (The Spatial Economy: Cities, Regions and International Trade) / П. Р. Кругман, М. Фуджита, Э.Д. Венэйблс. – Изд-во "Питер", 1999. – 367 с. ISBN 0-262-06204-6
10. Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 г. и на период до 2025 г. (утв. постановлением Правительства Мурманской области от 25 декабря 2013 г. № 768-ПП/20, в ред. от 10 июля 2017 г. № 351-ПП).
11. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах / Л. Б. Миротин, В. А. Гудков, В. В. Зырянов и др.; под ред. Л. Б. Миротина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 704 с.

## Экологическая безопасность автомобиля

**Баринов А. С., Малышев В. С.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** В современных условиях загрязнение воздуха создает не только серьезную экологическую проблему для жителей крупных мегаполисов, а также средних и даже небольших городов и поселков, но и вызывает глобальные климатические изменения. Общеизвестно, что транспорт является одним из основных источников выбросов загрязнений в атмосферу. В данной статье рассмотрено понятие экологической безопасности автомобиля и методы снижения негативного воздействия транспорта на окружающую среду и человека.

**Abstract.** In modern conditions of air pollution not only creates a serious environmental problem for residents of large cities, as well as medium-sized and even small towns and villages, but also causes global climate change. It is recognized that transport is a major source of emissions of pollutants into the atmosphere. This article the concept of environmental safety of a car and methods for reducing the negative impact of transport on the environment and human.

**Ключевые слова:** Экологическая безопасность автомобиля, методы снижения объема выбросов.

**Key word:** Environmental safety of the car, methods to reduce emissions.

В настоящее время основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха на территории России вносят следующие отрасли:

- теплоэнергетика (тепловые и атомные электростанции, промышленные и городские котельные и др.);
- предприятия черной металлургии, нефтедобычи и нефтехимии;
- автотранспорт;
- предприятия цветной металлургии и производство стройматериалов.

Автомобили оказывают вредное воздействие на природу и человека, так как в отработанных продуктах содержатся опасные для здоровья и окружающей среды компоненты, при движении автомобилей возникает шум.

При дорожно-транспортных происшествиях наносится материальный ущерб (уничтожение и повреждение грузов, транспортных средств и сооружений), а также возможна гибель и ранение людей. По данным Всемирной организации здравоохранения на автомобильных дорогах мира ежегодно гибнет (в том числе и от послеаварийных травм) свыше 900 тыс. человек, несколько миллионов становятся инвалидами, а свыше 10 млн. человек – получает травмы.

Дорожное строительство нарушает экологическое равновесие в природе вследствие:

- изменения существующего ландшафта;
- усиления водной и ветровой эрозии;
- развития геодинамических процессов, например оползней и обвалов;
- загрязнения окружающей местности, поверхностных и грунтовых вод материалами и веществами, применяемыми при эксплуатации автомобилей и дороги;
- неблагоприятного воздействия на существующий растительный и животный мир.

Экологическая безопасность – это свойство автомобиля, позволяющее уменьшать вред, наносимый участникам движения и окружающей среде в процессе его нормальной эксплуатации. Таким образом, экологическая безопасность, проявляющаяся во время повседневной работы автомобиля, отличается от других видов безопасности (активная, пассивная и послеаварийная), которые выявляются лишь при дорожно-транспортном происшествии.

Мероприятиями по уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать снижение токсичности отработавших газов и уровня шума. Не следует забывать и о проблеме утилизации отработавших свой срок и поврежденных автотранспортных средств.

Основными загрязняющими веществами при эксплуатации автотранспорта являются:

- выхлопные газы;
- нефтепродукты при их испарении;
- пыль;
- продукты истирания шин, тормозных колодок и дисков сцепления, асфальтовых и бетонных покрытий;
- противогололедные реагенты, соли и песок.

Основными мероприятиями по предотвращению и уменьшению вредного воздействия автомобилей на окружающую среду следует считать:

1) разработку таких конструкций автомобилей, которые меньше загрязняли бы атмосферный воздух токсичными компонентами отработавших газов и создавали бы шум более низкого уровня;

2) совершенствование методов ремонта, обслуживания и эксплуатации автомобилей с целью снижения концентрации токсичных компонентов в отработавших газах, уровня шума, производимого автомобилями, и загрязнения окружающей среды эксплуатационными материалами;

3) соблюдение при проектировании и строительстве автомобильных дорог, инженерных сооружений, объектов обслуживания таких требований, как:

- вписывание объекта в ландшафт;
- рациональное сочетание элементов плана и продольного профиля, обеспечивающее постоянство скорости движения автомобиля;
- защита поверхностных и грунтовых вод от загрязнения;
- борьба с водной и ветровой эрозией;
- предотвращение оползней и обвалов;
- сохранение животного и растительного мира;
- сокращение площадей, отводимых под строительство;
- защита зданий и сооружений вблизи дороги от вибраций;
- борьба с транспортным шумом и загрязнением воздуха;
- применение методов и технологии строительства, приносящих наименьший ущерб окружающей среде;

4) использование средств и методов организации и регулирования движения, обеспечивающих оптимальные режимы движения и характеристики транспортных потоков, сокращение остановок у светофоров, числа переключения передач и времени работы двигателей на неустановившихся режимах.

К основным вредным компонентам отработавших газов автомобилей относятся:

- окись углерода  $CO$  (сильное токсичное вещество);
- углеводороды  $CH_x$ ;
- окислы азота  $NO_x$  (токсичны, вместе с углеводородами  $CH$  образует фотохимический смог);
- альдегиды (вредно действуют на нервную систему и органы дыхания);
- твердые частицы, РМ (сажа);
- окислы серы  $SO_x$ ;
- бензапирен;
- соли свинца (сильно действующие токсичные вещества).

Среди названных "вредных" компонентов отработавших газов особенно следует выделить РМ<sub>2,5</sub> (ВС, "черный углерод"). Эмиссия ВС особенно велика у дизельных двигателей, где имеет место диффузионное сгорание. Однако практически такое же сгорание происходит и в двигателях с искровым зажиганием и непосредственным впрыском топлива. Эмиссия ВС от таких

двигателей плохо исследована и представляет, на наш взгляд, актуальную проблему, требующую решения.

Методы уменьшения загрязнения атмосферы отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания можно разделить на две группы:

- методы снижения токсичности выбросов;
- методы уменьшения объемов выбросов.

Методы снижения токсичности выбросов.

Методы, применяемые для снижения токсичности, можно разделить на четыре основные группы:

- изменение конструкции, рабочего процесса, технологии производства и специального регулирования двигателей внутреннего сгорания и их систем;
- применение другого вида топлива или изменение физико-химических свойств топлива;
- очистка выбросов от токсичных компонентов с помощью дополнительных устройств;
- замена традиционных двигателей новыми малотоксичными силовыми установками.

Методы первой группы включают многочисленные мероприятия по улучшению смесеобразования и обеднения смеси, дозирования и распределения ее по цилиндрам (электронные и электромеханические системы впрыска топлива, модифицированные быстропрогреваемые впускные клапаны, термостатирование воздуха, гомогенизация смеси).

Токсичность отработавших газов значительно уменьшается при применении бесконтактных систем зажигания; электронным управлением; использовании послойного смесеобразования; установке устройств для рециркуляции отработавших газов, изменении формы камеры сгорания.

С помощью специальных регулировок (состава смеси, угла опережения зажигания и опережения впрыска топлива, времени перекрытия клапанов) можно уменьшить содержание токсичных компонентов в отработавших газах. Снижение выброса вредных компонентов можно достичь путем поддержания двигателя в чистоте и снижения загрязнения системы питания, отложений в газораспределительном механизме, всасывающей трубе.

Вторая группа методов имеет два основных направления: применение присадок к топливам, снижающих выброс свинца, серы, канцерогенных веществ, сажи и твердых частиц; перевод двигателей на другие виды топлива (пропан-бутан, природный газ, водород, воздух).

Третья группа методов – очистка выбросов от токсичных компонентов, производимая с помощью нейтрализаторов различных типов и очистителей, устанавливаемых на автомобили. Нейтрализаторы производят физико-химическую очистку выбросов (термические, каталитические, жидкостные, механические, улавливающие испарения топлива и картерных газов, комбинированные), а очистители осуществляют очистку воздуха на входе в двигатель и отработавших газов при выходе их из двигателя.

Методы уменьшения объемов выбросов.

Эти методы относятся в значительной степени к организационно-техническим мероприятиям. Все же основным способом уменьшения объемов выбросов является совершенствование транспортной инфраструктуры, включающее:

- целесообразную транспортную планировку городов;
- соответствующую организацию транспортных потоков и оптимизацию их характеристик;
- рациональную организацию доставки пассажиров в городах и оптимизацию типажа городского транспорта;
- формированием пассажиропотоков;

Решением этого круга задач планирует задаться коллектив исследователей кафедры энергетики и транспорта.

### **Библиографический список**

1. Александров В. Ю., Кузубова Е. П., Яблокова Е. П. Экологические проблемы автомобильного транспорта. – Новосибирск, 2005. – 113 с.
2. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 2013. 256 с.
3. Голубев И. Р., Новиков Ю. В. Окружающая среда и транспорт. – М.: Транспорт, 2007.
4. Самойлов Д. С., Щцин В. А. Организация и безопасность городского движения. – М.: Высшая школа, 2008. – 256 с.
5. Министерство транспорта российской федерации научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО "НИИАТ"). Расчетная инструкция по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов 17 ноября 2006 г. Москва 2008.

## Экспериментальные исследования влияния угла атаки воды на лопасти гребного винта судов СРТМ-К пр. 502эм

**Зимнухов Е. Н.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен вопрос о необходимости оптимизации гребных винтов регулируемого шага морских судов. Экспериментальные данные автора показывают возможность экономии топлива до 40% при сохранении скорости судна на свободном ходу и на режимах траления. Эксперименты в морских условиях проведены более чем на 50 судах различных типов .

**Abstract.** In this article the question of necessity of optimization of rowing screws of the regulated step of sea vessels is considered. The experimental data of the author show the possibility of saving fuel up to 40% while maintaining the speed of the ship at free running and trawling modes. Experiments in marine conditions were carried out on more than 50 vessels of various types .

**Ключевые слова:** Морские суда, оптимизация, винт регулируемого шага, промысел рыбы, винтовые характеристики.

**Keywords:** Sea vessels, optimisation, propeller, fish, screw characteristics.

В настоящее время практически все суда рыбопромыслового флота оснащены винтами регулируемого шага. С одной стороны, это увеличивает маневренность судна, а с другой – предоставляет судоводителю работать в широком диапазоне низких пропульсивных к.п.д. винта.

Под пропульсивным к. п. д. винта понимается способность винта создавать упор за счет отбрасываемой воды. Если вода отбрасывается прямолинейно без вихрей – к. п. д. – высокий. Если часть работы винта пошла на завихрения потока (мы часто видим буруны за кормой) – к. п. д. – низкий.

При проектировании корпуса судна ориентировочно, по таблицам подобия можно подобрать винт для судна и двигатель исходя из задаваемой скорости. Практика же показывает, что большинство судов имеют отвратительно спроектированный и изготовленный винт. Для винта фиксированного шага эти ошибки трудно поправимы. Требуются новые отливки винта, которые могут быть снова неудачными. Для ВРШ перспектива шире.

Вопрос: когда к .п. д. винта регулируемого шага максимальный?

Ответ: когда для обеспечения одной и той же скорости судна требуется меньшая мощность двигателя, т. е. меньшее количество сжигаемого топлива.

С точки зрения гидродинамики это может быть обеспечено только тогда, когда поток воды в кормовом подзоре, набегающий на винт, образует в относительном движении такой треугольник скоростей, при котором вода



набегает на каждую точку лопасти, как воздух набегает на крыло самолета: плавно, безударно.

Из разделов газодинамики, изучающей разделы подъемной силы крыла (что для гребного винта равнозначно "упору") показательным является график изменения подъемной силы от угла атаки (для гребного ВРШ – угол разворота лопасти).

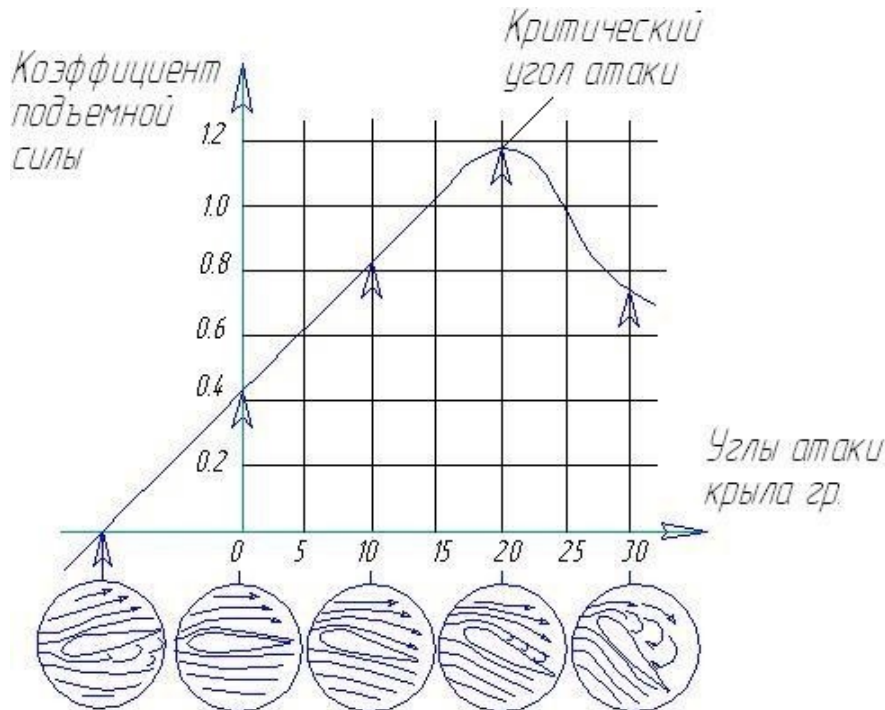


Рисунок 1 – Зависимость упора лопасти винта и подъемной силы крыла от угла атаки

На судах СРТМ-К пр. 502эм, и ряде других типов судов рыболовных флотах Северного бассейна проведена аналитическая и экспериментальная работа по оптимизации работы гребного винта (ВРШ).

Ниже представлена типичная винтовая характеристика судов этой серии. Эксперименты проводились в Кольском заливе, в фиордах Норвегии, в Баренцевом море. По результатам работ составлены акты испытаний, получены данные топливных отчетов до и после модернизации. На характеристике видно, что верхняя кривая (супер тяжёлый винт, за критичные углы атаки) не укладывается в представление о кубической параболе зависимости скорости судна от потребности в мощности (топливе). Однако именно по такой зависимости большинство (из нами исследованных судов СРТМ-к) осуществляет промысел в море. Это явная недоработка завода изготовителя (Киевский судостроительный завод "Ленинская кузница"), поставившего систему управления судном (СПДУ-система пневматического дистанционного управления). Пытались улучшить голландскую систему.

"KaMeWa", успешно работающую на судах типа ПР "Буссоль", но вышло именно так, как мы получили на экспериментальных графиках.

А именно, работая с критическими углами атаки лопасть винта работает в режиме кавитации и очень низкого пропульсивного к.п.д.

Представлены характеристики при различных углах разворота. При так называемом "лёгком" гребном винте также наблюдается низкий к. п. д. Из всех возможных вариантов удаётся подобрать только один оптимум, при котором расход топлива минимальный, а скорость максимальная.

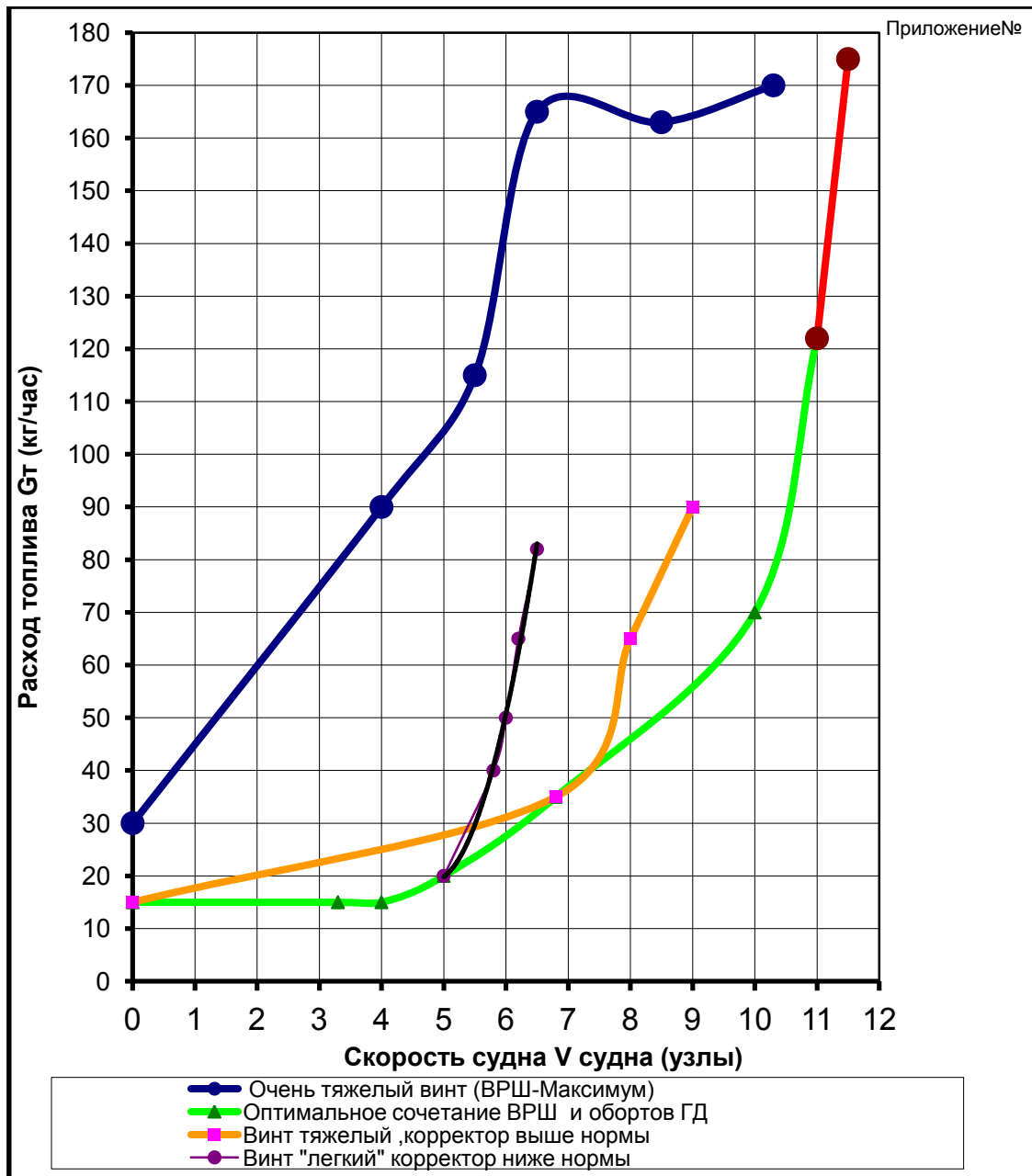


Рисунок 2 – Зависимость между расходом топлива ГД и скоростью судна при различных оборотах двигателя и разворотах лопастей ВРШ по данным испытаний СРТМ-К МИ-1545;МИ-309;МИ-305 т др. 10 судов

## Повышение эффективности работы судна

Мы разработали систему механизмов, позволяющую работать винту на максимально возможном к. п. д. на всех режимах: п/х, х. т. р., ср. х., т. е. для любой скорости судна необходимой для выполнения промысловых задач обеспечивается минимальный расход топлива. Кроме того, данная система позволяет управлять главным двигателем в мягком режиме, не позволяя переходить с режима на режим бросками нагрузок, что увеличивает моторесурс двигателя.

На судно поставляется:

1. Устройство измерения расхода топлива мгновенного действия, с помощью которого можно проводить как теплотехнические испытания двигателя после ремонта и в процессе эксплуатации, так и проверку работы к. п. д. винта. При определенном опыте, возможно определить не только обрастание корпуса, но и наполнение трала рыбой.

2. Модернизируются кулачки, задающие обороты двигателя и разворот лопастей винта.

3. Оптимальные для каждого судна соотношения, определяются на ходовых и швартовных испытаниях судна, после которых подписывается Акт приемки-сдачи работ

По результатам работы 7 судов СРТМ-к среднестатистическая экономия топлива достигает 50 кг\час для режима полного хода. Прекрасный отзыв получен от судна с ярусным ловом (улучшенная маневренность и большая экономия топлива).

Плавной работой двигателя довольны механики и штурмана.

Таким образом, реальная прибыль судовладельца может выглядеть так:

Суда типа СРТМ-к имеют в своем составе главный двигатель 8НВД48А2 мощностью 1 000...1 160 л. с. При паспортном расходе на 1 л. с. час 166 г/л. с. час. на полной мощности двигатель потребляет:  $166 \times 1160 = 192$  кг/топлива в час. Суточный расход при полной нагрузке составляет  $192 \times 24 = 4\,600$  кг/сутки. При средней загрузке электростанции 200 кВт и среднем идеальном расходе для ВДГ 180 г/л.с./ч суточный расход на электростанции составит:  $0,180 \times 200 \times 24 = 864$  кг топлива

Итого на судно на полном ходу расходуется:  $4,6 + 0,864 = 5,45$  т.\сутки.

В среднем на режиме промысла расход топлива определяется как 4,3...5 т. в зависимости от условий плавания.

Оптимизация углов атаки воды на профиль лопасти гребного винта позволяет экономить: на главном двигателе судна СРТМ-К пр. 502эм – 50 кг\час, что при средней загрузке за год 300 суток экономия топлива может составить:  $\Delta = 50 \cdot 24 \cdot 300 = 360\,000$  кг\год = 360 тонн дизельного топлива.

Акты испытаний и топливные отчёты ряда судов с различных флотов подтверждают расчёты полностью.

**Экология: уменьшение выбросов выхлопных газов.**

Приблизительно, суда только рыбной промышленности Северного бассейна имеют общую мощность энергетических установок не менее 500 000 э.л.с.. Потребляя в среднем на 1 э.л.с. 170г\час топлива, общее потребление достигает 85 000 кг\час или 2 040 000 кг\ сутки. При этом в процессе сгорания участвует (с учётом коэффициента избытка воздуха) 50 000 000 кг воздуха кислород выгорает полностью, из 30 000 000 кг воздуха превращаясь в CO<sub>2</sub> в сутки 10 000 000 кг (трёхатомный газ, парниковый эффект).

Данные цифры приблизительно показывают участие нашего рыболовного флота Северного в загрязнении атмосферы. Учитывая, что в продуктах сгорания содержится и другие вредные примеси, неконтролируемые приборами – проблема возрастает.

Более точно содержание вредных примесей можно посчитать по табл. 1.1.

Состав отработавших газов ДВС в процентах по объёму.

Таблица 1.1 – содержание вредных примесей

Компоненты отработавших газов	Дизель
Азот	76–78
Кислород	2–18
Двуокись углерода CO <sub>2</sub>	1–10
Пары воды	0,5–4
Окись углерода CO	0,01–0,5
Окислы азота NO	0,0002–0,5
Двуокись серы SO <sub>2</sub>	0,01–0,03
Углеводороды CH	0,09–0,5
Альдегиды	0,001–0,009
Сажа	0,01–1`
Бензпирен	до 10``

Сажа (твёрдый фильтрат отработавших газов) состоит из частиц углеводорода. Сажа, выделяется с отработавшими газами, создает неприятное ощущение загрязнения воздуха. Попадая на растительность, она препятствует процессу опыления.

Наши экспериментальные работы показывают, что практически на всех судах, где в качестве движителя применяется ВРШ (винт регулируемого шага), возможно снижение расхода топлива, а значит и выбросы, не менее чем на 10 % при сохранении скорости судна как на режимах траления, так и в режиме свободного хода (транспорт).

### **Внедрение**

На сегодняшний день внедрено:

1. Технология оптимизации пропульсивного комплекса судна с модернизацией системы пневматического дистанционного управления (СПДУ) по методике Зимнухова Е. Н., отработана, испытана и лично внедрена более чем на 50 судах 5 проектов 15 флотов в различных регионах :

– "Севрыбпромразведка" 9 судов – ( 5 судов типа СРТМ-К пр. 502эм и 4 судна типа ПСТ (пр.1386 "Баренцево море").

– ББГЛ (Беломорская База Гослова)- 5 судов типа пр "Атлантик-.333" "Омуль" 3. Мурманский Траловый флот 15 судов типа ПСТ пр. 1386 "Баренцево море", и пр

– "Атлантик-.333" – "Омуль".

– "Мурманрыбпром" 20 судов типа В-408 "Иван Бочков".

– Рижский транспортный флот (РТФ) 1 судно(типа "Остров Русский") – "Роню Сала".

– Лиепая, колхоз "Курса" -2 судна – типа пр "Атлантик-.333"- "Омуль" и БМРТ пр 394- АМ. "Дзинтерземе".

– "Ленрыбпром" , Ленинград- 6 судов типа "РТМС" (1992 г.).

– Ненецкий колхоз СПК РК "Андег" -1 судно СРТМ-К- (пр. 502-эм).

– ООО "Консул-М"- 1 судно СРТМ-К (пр.502эм ) 10.ЗАО "Рыбпром-3" -1 судно ТР "Принцесса Арктики"

– ЗАО "Карат-1"- 1 судно типа ПСТ. (пр.1386 "Баренцево море").

– ООО "ЛКТ" -1 судно типа СРТМ-К (пр502эм).

– ЗАО "Севрыбком-1"- 1 судно СРТМ-К (пр502эм).

– СПК РК "ВСХОДЫ КОММУНИЗМА" – 4 судна СРТМ--к(пр.502эм).

– Полярный научно-исследовательский институт ( ФГУП ПИНРО) – научное судно

– "Фритъоф Нансен" (пр "Атлантик-.333").

– СПК РК "Мурман"- 2 судна СРТМ-К (пр502эм) (2015 г).

### **Выводы и рекомендации**

На основании представленного материала можно предложить следующую схему мероприятий по сокращению расхода топлива на судах и уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу:

1. Оснастить суда расходомерами топлива мгновенного действия .
2. На всех судах провести работы построению винтовых характеристик судна и по оптимизации работы пропульсивного комплекса (гребной винт-двигатель).
3. Сократить выбросы в атмосферу за счёт сокращения расхода топлива при сохранении скорости судна не менее чем на 10 %.
4. При приёмке судов обратить особое внимание на соответствие заявленных ходовых характеристик судна действительным, с обязательным измерением расхода топлива и построением рабочей винтовой характеристики для данного судна, а не типового.
5. Провести анализ винтовых характеристик судна и запретить работу в зоне за критических углов атаки, приводящих к срыву потока на лопасти и кавитационным режимам с низким к.п.д. ВРШ .
6. Обеспечить контроль в онлайн режиме за работой судна по оптимальным характеристикам.

## Диверсификация видов топлива систем теплоснабжения Мурманской области

**Малышев В. С., Пантилеев С. П.** (г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта)

**Аннотация.** ПАО "Ямал-СПГ" ввел в 2017 г. в эксплуатацию комплекс по производству до 16,5 млн т сжиженного природного газа (СПГ), что создает возможность перевода ТЭЦ и котельных области на работу с СПГ. В статье рассмотрены пути доставки и хранения СПГ, отмечены экономические преимущества его использования, обоснованы варианты диверсификации используемых топлив.

**Abstract.** PJSC "Yamal-LNG" commissioned in 2017 a complex of production of up to 16.5 million tons of liquefied natural gas (LNG), which makes it possible to transfer CHP and boiler plants to work with LNG. The article considers the ways of delivery and storage of LNG, noted the economic advantages of its use, variants of diversification of used fuels are substantiated.

**Ключевые слова:** Системы теплоснабжения Мурманской области, виды используемого топлива, "мазутозависимость", сжиженный природный газ (СПГ), преимущества использования, доставка, хранение, экономическое обоснование.

**Keywords:** Heat supply systems of Murmansk region, types of fuel used, "mazuto-dependence", liquefied natural gas (LNG), advantages of use, delivery, storage, economic justification.

Мурманская область относится к так называемым мазутозависимым регионам России, ибо порядка 75 % используемого в области топлива приходится на мазут (рис. 1). "Мазутозависимость" Мурманской области делает тарифы на тепловую энергию и ГВС самыми высокими на Северо-Западе России, создает серьезные экономические проблемы практически для всех теплоснабжающих организаций региона. При этом имеется в виду, что экономическое положение теплоснабжающих организаций региона априори неудовлетворительно в силу высокой стоимости топлива, а поэтому требует серьезного субсидирования из регионального бюджета. К сожалению, высокая стоимость топлива – не единственная проблема. Плохое качество мазута вынуждает использовать для его распыливания паромеханические форсунки, расход пара в них составляет (0,5–0,8) кг на 1 кг топлива, что приводит примерно к 4 % дополнительному расходу топлива. Применение низкокачественных крекинг-мазотов вызывает коксование поверхностей нагрева, ведёт к уменьшению коэффициента теплопередачи от продуктов сгорания к пару и в конечном итоге к дополнительному повышению температуры уходящих газов и связанных с ними потерями тепла. Так при толщине слоя нагара в 2 мм величина потери  $q_2 = 100\Delta J / Q_n^p$  составит 3,4 %. Дополнительной проблемой

является высокая (до 3 %) "обводненность" современных мазутов, так как их разогрев реализуется прямой подачей пара в цистерны. Отделить воду от мазута гравитационным методом практически невозможно, так как у них практически одинаковая плотность. В результате часто вода в хранилищах мазута находится в виде линз, которые, попадая в форсунку почти без мазута, гасят факел, нарушая нормальную работу котла, вызывая хлопки и взрывы, необходимость повторного пуска котла.



Рисунок 1 – Топливный баланс Мурманской области.

Высокое содержание серы в топливе вызывает коррозионное разрушение так называемых "хвостовых" поверхностей нагрева вследствие низкотемпературной газовой коррозии, вызванной воздействием на них образующейся в отработавших газах серной кислоты. В результате, для сохранения хвостовых поверхностей нагрева требуется повышение температуры уходящих газов до 200 °С, что при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,3$  дает потерю с уходящими газами около 9 %. В итоге общие потери составят порядка 15 %. Не следует забывать и о крайне негативном воздействии образующихся продуктов сгорания на экологическую обстановку региона и Арктической зоны в целом, ведь в отработавших газах мазутных котельных содержится повышенная концентрация частиц сажи ("черного углерода"), оксидов азота и серы.

Правительство Мурманской области презентовало комплексный инвестиционный проект (КИП). Какие же решения предлагает (рис. 2):

1. Изменение установленной мощности источников – (–27 %) за счет приведения в соответствие с подключенной нагрузкой.

2. Изменение количества источников тепловой энергии – минус 14 источников (11 %) за счет объединения зон действия.



3. Изменение объемов потребления и видов теплоносителей – главным образом за счет увеличения доли использования угля и электроэнергии.

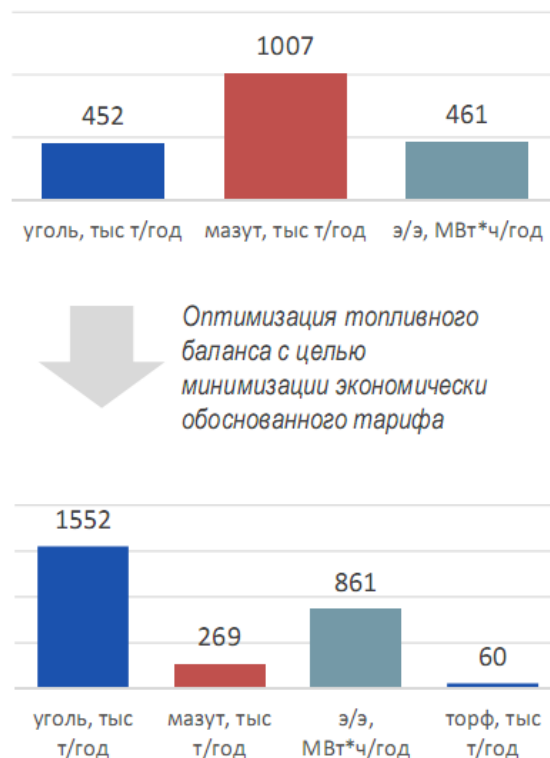


Рисунок 2 – Предложенный КИП вариант оптимизации топливного баланса

Как видно из предложенных планов, замену мазута в основном предполагается проводить углём и электричеством. Небольшую часть предлагается покрыть местными видами топлива – торфом и отходами лесопереработки. При этом никак не оценён энергетический потенциал бытовых и производственных отходов ("вторичных" энергоисточников), использование пеллетов, а главное не проработан вариант замены мазута на СПГ, который не потребует, в отличие предлагаемого угля, замены мазутных котлов на угольные.

Где же взять природный газ? ПАО "НОВАТЭК" запустил первую очередь комплекса "Ямал СПГ" производительностью 5,5 млн т СПГ. В течение следующего года мощность предприятия должна достигнуть планового значения в 16,5 млн т. "Ямал СПГ" уже отправил шестую партию сжиженного природного газа с завода, впервые задействовав для этого новое судно своего флота – танкер арктического класса Arc7 "Эдуард Толль". В декабре 2017 заместитель председателя правления "НОВАТЭКа" Лев Феодосьев сообщил, что "Ямал СПГ" планирует отгрузить по спотовым контрактам до апреля 2018 г. около 14 партий СПГ, а всего за 2018 г. – 72–75 партий СПГ.

В Мурманском порту по обеим берегам достаточно свободного места для организации приёма и хранения СПГ из Ямала. Глубины залива позво-

ляют проводить хранение СПГ и в плавучих хранилищах, стоимость которых по сравнению со стационарными значительно ниже и возможен срок изготовления в 1,5–2 года (стационарное хранилище потрубуется как минимум 3–4 года). В перспективе реализацию СПГ с Ямала можно проводить непосредственно в Мурманском порту, что принесёт дополнительные средства в бюджет. Такое решение позволит меньшим числом ледоколов-танкеров вывозить СПГ с Ямала: ледоколами – до Мурманска, а дальше уже можно использовать суда не ледового класса. При этом существенно уменьшатся транспортные расходы.

Данные табл. 1 показывают, что СПГ обладает целым рядом достоинств по сравнению с традиционными топливами по доставке, подготовке к использованию и хранению, но главное он значительно дешевле, при этом котлы, работающие на СПГ, имеют наивысший КПД и не требуют расхода топлива на предварительный его подогрев зимой. Низкая температура кипения гарантирует полное испарение СПГ при любых температурах окружающего воздуха.

Доступность СПГ возрастает, так как отмечается устойчивая динамика снижения цен на него (рис. 3). Не вызывает вопросов доставка и хранение. В порт Мурманск СПГ можно доставлять танкерами-газовозами. Исследования и имеющийся опыт показали, что весьма выгодна также перевозка СПГ в железнодорожных цистернах. Вакуумная теплоизоляция цистерн удовлетворяет требованиям железных дорог, в том числе экологическим и техники безопасности, срок бездренажного хранения доведен до 40 суток.

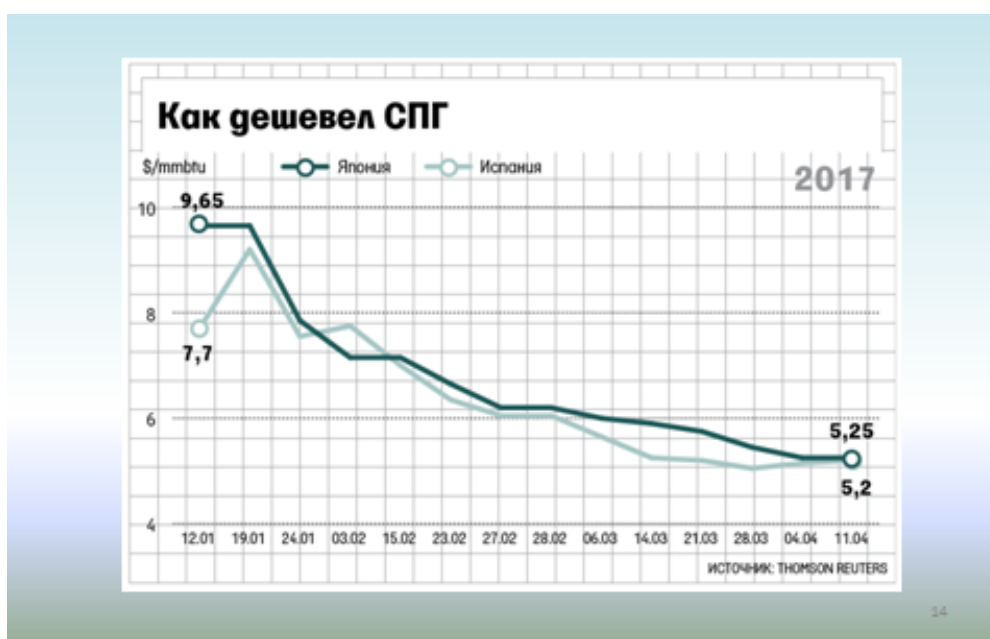


Рисунок 3 – Динамика изменения стоимости СПГ на "спотовых" рынках

Таблица 1 – Сопоставление характеристик используемых топлив

Характеристика	Топливо			
	СПГ	Мазут М100	Уголь	ДТ-ЕВРО-4
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	48,4	41,3	25,0	42,2
Среднее значение КПД котельных, %	92	80	60	89
Удельный расход топлива, кг/Гкал	95	132	476	110
Отпускная цена топлива, руб./т	15 500	13 500	4 000	24 000
Стоимость производства единицы тепловой энергии (топливная составляющая), руб./Гкал	1 465	1 776	1 905	2 649

Следует помнить, что скрытый резерв в СПГ – это его холод, который можно и целесообразно использовать, охлаждая например другие материалы. В результате, возникает реальная возможность синергетического эффекта. Так, рядом с котельной может быть построен большой "холодильник" для хранения рыбы, мяса при температурах, которые не смогут обеспечить даже самые хорошие холодильные машины (требующие при этом много дополнительной энергии). Возможно также использовать "холод" СПГ для охлаждения продуктов сгорания за котлом, при этом можно, например, получать "сухой лёд" (твёрдый углекислый газ) и дешёвый технический азот, применение которых и востребовано и разнообразно.

Таким образом, применение СПГ безусловно позитивно скажется на экономике и экологии региона, позволит создать новые производства, увеличит занятость. Теплоснабжающие предприятия области качественно повысят свою эффективность, появится возможность замедления роста тарифов на отопление и ГВС, что позволит улучшить качество жизни жителей области.

Предлагаемый нами вариант диверсификации не исключает возможности использования угля. Так, мы считаем целесообразным оставить работу на угле котельных Печенгского района, где уже в какой-то степени решены вопросы утилизации образующихся шлака и золы, конечно же существующие котельные должны быть модернизированы или заменены современными, автоматизированными. Напротив, котельные Кандалакшского района, особенно находящиеся на побережье Белого моря, целесообразно перевести на "пеллеты", ибо они в достаточном количестве производятся на деревообрабатывающих предприятиях Архангельска. Заводы эти располагаются

в устье Северной Двины и логистика их доставки представляется идеальной. Для энергоснабжения удаленных изолированных населенных пунктов об-

ласти, находящихся на побережье Баренцева и Белого морей, необходимо использовать ветро-дизельные установки.

### **Библиографический список**

1. Киселев И. Г. Теплотехника на подвижном составе железных дорог: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: ГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2008. 278 с.
2. Бармин И. В., Кунис И. Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / под ред. А. М. Архарова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 256 с.
3. Тимофеев В. А. Энциклопедия газовой промышленности (4-е издание 1990), ред. пер. К. С. Басниев. – М.: Акционерное общество ТВАНТ, 1994. 884 с.
4. Бучнев О. А., Саркисян В. А. Перспективы сжиженного природного газа на энергетических рынках // Газовая промышленность. 2005. № 2.
5. Вещицкий В. А. Изотермическое хранение сжиженных газов. – Л.: Недра, 1970. 190 с.
6. Ильинский А. А. Транспорт и хранение промышленных сжиженных газов. – М.: Химия, 1976.

## **Применение поверхностных КУТ за котлами, работающими на водо-мазутных эмульсиях (ВМЭ)**

**Пантилеев С. П.** (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта*)

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы энергосбережения в работе газо-мазутных котлов, работающих на низкосортных высоко сернистых мазутах при помощи применения продувочной воды в качестве добавки к мазуту перед его подачей в диспергатор вместо подачи пара в паро-механические форсунки. Рассмотрены варианты возможного применения конденсационных утилизаторов тепла (КУТ) продуктов сгорания при использовании продувочной воды в качестве добавки к мазуту. Рассмотрены схемы применения коррозионно-стойкого конденсационного утилизатора тепла продуктов сгорания. Предложены варианты уменьшения низкотемпературной коррозии хвостовых поверхностей котлов, работающих на ВМЭ. Рассмотрены положительные моменты от применения КУТ с точки зрения уменьшения вредных выбросов серного ангидрида, понижения точки росы и в следствии этого уменьшения потерь тепла с уходящими газами.

**Abstract.** The problems of energy saving in the operation of gas-fuel oil boilers operating on low-grade high-sulfur fuel oil with the use of purge water as an additive to fuel oil before it is fed into the disperser instead of steam in steam-mechanical nozzles are considered. The variants of possible use of condensation heat exchangers (KUT) of combustion products when using purge water as an additive to fuel oil are considered. Schemes of application of corrosion-resistant condensation heat exchanger of combustion products are considered. Variants of reduction of low-temperature corrosion of tail surfaces of boilers working at VME are offered. The positive aspects of the KUT application from the point of view of reduction of harmful emissions of sulfur anhydride, reduction of the dew point and as a consequence of this reduction of heat losses with exhaust gases are considered.

**Ключевые слова:** Газо-мазутные котлы; паро-механические форсунки; водо-мазутные эмульсии; диспергаторы мазута; продувка котла; вредные выбросы и стоки; температура точки росы продуктов сгорания; конденсационные утилизаторы тепла; снижение вредных выбросов; энергосбережение.

**Keyword:** Gas-fuel oil boilers; steam-mechanical nozzles; water-fuel oil emulsions; fuel oil dispersants; boiler purge; harmful emissions and drains; temperature of the dew point of combustion products; condensing heat utilizers; reduction of harmful emissions; energy saving.

### **Введение**

Работа мазутных котлов в настоящее время сопряжена с неблагоприятными условиями, связанными с низким качеством, обводнённостью и высо-

кой сернистостью поступающих на сжигание мазутов. Хвостовые поверхности мазутных котлов выполнены из углеродистой стали, которая подвержена интенсивной кислотной коррозии. Это всё требует повышения температуры уходящих газов для сохранения хвостовых поверхностей нагрева до температуры в 200 °С, что приводит при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,3$  к увеличению потерь тепла с уходящими газами до  $q_2 = 9...12\%$ .

Плохое качество мазута не позволяет использовать механические форсунки, распыливание мазута в большинстве котельных проводят при помощи паромеханических форсунок. При этом расход пара составляет 0,5...0,8 кг на 1 кг топлива, это приводит к дополнительного расхода топлива, который может составлять до 4 %.

Плохое неполное сгорания мазутов приводит к быстрому загрязнению отложениями поверхностей нагрева, что ведёт к уменьшению коэффициента теплопередачи от продуктов сгорания к воде и пару и в конечном итоге повышению температуры уходящих газов и связанных с ними потерь тепла. Увеличение потери с уходящими газами отложений в 1 мм (2 мм) составит 1,85 % (3,4 %).

В итоге имеем общие потери порядка 15 %, которые можно значительно уменьшить, если использовать ниже рассматриваемые мероприятия.

### **Применение диспергаторов мазута**

Применения различных конструкций современных диспергаторов позволяет обводнённые мазуты превращать в водо-мазутные эмульсии (ВМЭ), в которых мазут представляет из себя эмульсию из разбитых до 10...40 мкм частиц мазута и воды, которые равномерно распределены в объёме и не расслаиваются в течение нескольких месяцев.

Физический смысл в улучшении процесса горения ВМЭ с перегретой водой в следующем.

Распыливание ВМЭ на номинальном режиме в механической форсунке при давлении ВМЭ 1,4МПа при температуре 190 °С будет обеспечиваться расширением капель перегретой продувочной воды, покрытых мазутной плёнкой, вылетающего из сопла форсунки. Перегретая вода попадая в топку с атмосферным давлением частично превращается в пар. Объём занимаемый паром больше объёма капли примерно в 200 раз.

Капля резко в виде взрыва увеличится в диаметре в  $200^{1/3} = 5,8$ . Это приведёт к её резкому многократному дроблению на мелкие водяные капли,

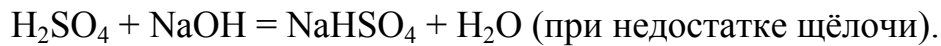
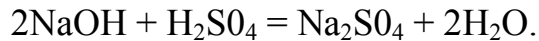
покрытые микронным слоем мазута, микронных размеров. Последние начнут нагреваться и испаряться и увеличиваться в объёме в 1 608 раз. Это приведёт к полному распыливанию мазутной плёнки, которая при температуре испарения начнёт гомогенно гореть.

Распыление ВМЭ в механической форсунке на порядок превосходит распыливание мазута в паровой форсунке. Там пар расширяется только в  $1,4/0,1 = 14$  раз.

Мелкие микронные капли, не прогретые до испарения воды, попадая на поверхность труб котла, покрытых нагаром, взрываются от контакта с высокой температурой отложений и разрушают их. Это документально доказано рядом испытаний.

### **Применение продувочной воды, дополнительно вводимой в диспергаторов мазута**

В продувочной воде всегда имеется щёлочь NaOH (по расчёту при  $D = 20$  т/ч и продувки 4 % её расход  $[Na OH] = 0,48$  кг/ч), которой и осуществляется очистка (связывание серы) дымовых газов от триоксида серы по следующим реакциям:



Сульфат натрия  $Na_2SO_4$  безводный устойчив выше температуры  $32,384$  °С, ниже этой температуры в присутствии воды образуется кристаллогидрат  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ . В дымовых газах будет в безводном сухом состоянии.

Гидросульфат натрия  $NaHSO_4$  образует бесцветные кристаллы с температурой плавления  $186$  °С. В газовом тракте он будет в расплавленном виде.

Расчёты показывают, что продувочной воды для нейтрализации триоксида серы, выделившегося при сгорании мазута с содержанием серы  $S^p = 5$  %, не хватает. При сернистости топлива  $S^p = 2,5$  % нейтрализация триоксида серы будет полной.

### **Утилизация тепла уходящих газов**

Проведём ориентировочный расчёт конденсационного утилизатора тепла уходящих газов (далее – КУТ) для котла ДКВр-20-13ГМ, работающего на ВМЭ (30 % продувочной воды).

Проработана конструкция коррозионностойкой секции КУТ. Эти секции можно использовать в зависимости от тепловой нагрузки, соединяя их

между собой на болтах и прокладках. Вид такой секции показан на рис. 1. Расположение трубок – шахматное.

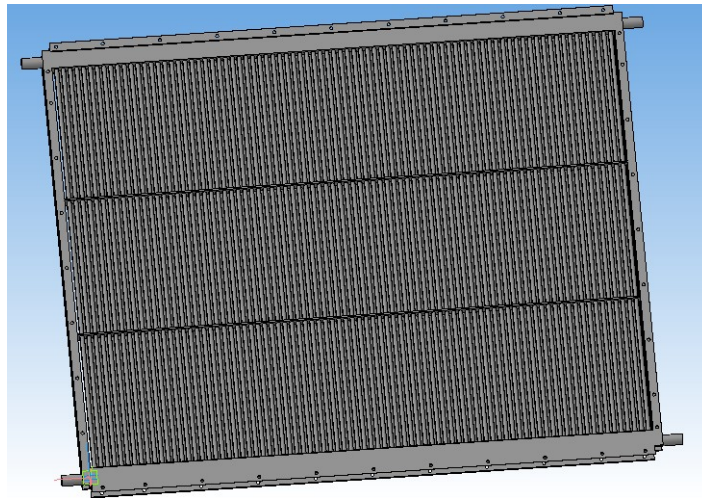


Рисунок 1 – Конструкция коррозионностойкой секции КУТ

Количество добавленной продувочной воды на 1 кг топлива:  $G_{\text{пв}} = 0,3$  кг/кг.

Объем водяных паров продувочной воды  $V_{\text{H}_2\text{Oпв}} = 0,374 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Объем водяных паров общий  $V_{\text{H}_2\text{O}} = 1,82 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Объем продуктов сгорания:

$V_{\text{г}} = 16,16 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

*Рисунок 1. Секция КУТ*

Доля водяных паров в продуктах сгорания  $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,11$ .

Тепловосприятие поверхностей нагрева без учёта конденсации водяных паров:  $Q_1 = \phi(I' - I'') = 0,95(4573 - 733) = 3\ 648$  кДж/кг.

Конденсация водяных паров при их доле  $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,11$  начнётся при температуре  $48$  °С, когда концентрация будет  $87 \text{ г}/\text{м}^3$ . При температуре  $30$  °С концентрация будет  $31 \text{ г}/\text{м}^3$ .

Количество сконденсированного водяного пара составит:

$$G_{\text{кон}} = V_{\text{г}}(87 - 31)/100 = 16,16 (87 - 31)/1\ 000 = 0,905 \text{ кг/кг}.$$

Тепло конденсации:  $Q_{\text{кон}} = 2\ 490 G_{\text{кон}} = 2\ 253$  кДж/кг =  $538$  ккал/кг.

Общее количество тепла переданное в КУТ:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + \phi G_{\text{кон}} = 3\ 648 + 0,95 \cdot 2\ 253 = 5\ 788 \text{ кДж/кг} = 1\ 381 \text{ ккал/кг}.$$

Основная проблема в применении КУТ – это наличие рабочей среды требующей подогрева с начальной температурой ниже точки росы.

В открытой схема теплоснабжения такой средой является холодная вода (рис. 2), идущая на ГВС. Но её неравномерный график использования



приводит к усложнению схемы с применением аккумуляторов горячей воды, заправляемых средним суточным расходом.

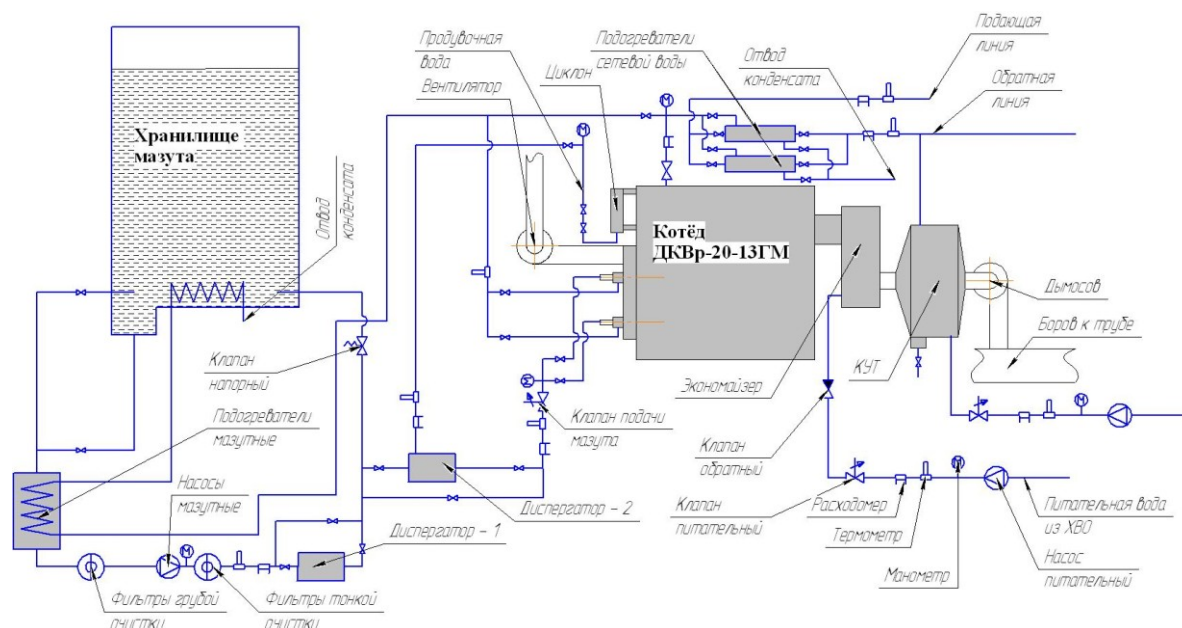


Рисунок 2 – Схема обвязки котла с КУТ и диспергаторами ВМЭ для открытой системы теплоснабжения

Другой средой с температурой ниже точки росы является воздух подающийся в топку котла. Он в отопительный сезон всегда имеет температуру много ниже точки росы.

Подогрев воздуха приведёт к повышению температуры продуктов сгорания в топке, конвективных поверхностях, чем уменьшит кислотную коррозию хвостовых поверхностей котла. Это добавленное тепло будет утилизировано в КУТ, что повысит КПД котла в целом. Тепловые балансы воздуха и продуктов сгорания за хвостовыми поверхностями требуют рассмотрения конкретных схем.

Рассмотрим несколько схем использования подогрева воздуха для работы КУТ.

### **Первая схема использования тепла конденсации водяных паров из продуктов сгорания ВМЭ**

При полном охлаждении всех продуктов сгорания от 200 до 30 градусов и разбавлении их горячим воздухом до температуры 60 °С необходимо негреть дополнительно количество воздуха, равное при одинаковой средней теплоёмкости воздуха и продуктов сгорания: 14,59 м<sup>3</sup>/кг.

Количество тепла, которым можно нагреть общее количество воздуха до температуры 150 °С при сгорания 1кг ВМЭ составит 51 % от получае-

мого от уходящих газов при смеси воздуха с продуктами сгорания после КУТ в 60 °С.

Остальную часть тепла необходимо отдать для подогрева питательной воды ПВ (рис. 3), а это ещё 676,7ккал/кг.

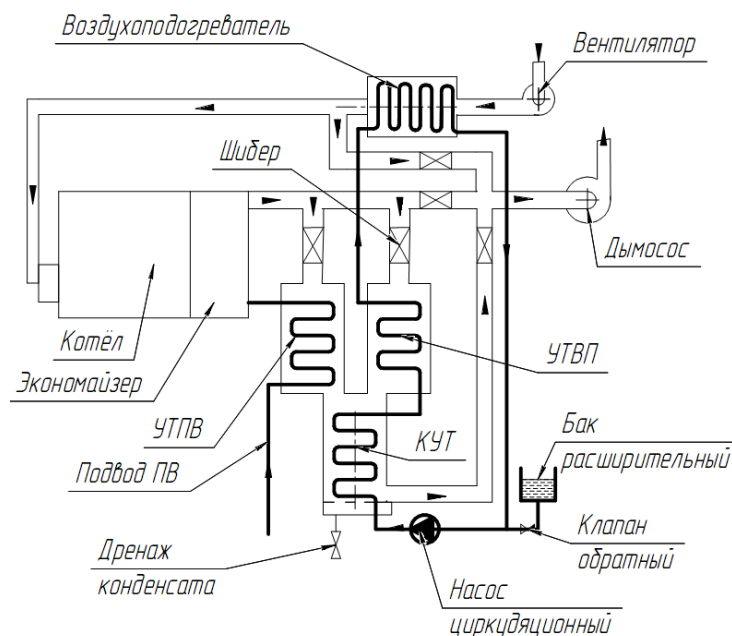


Рисунок 3 – Схема работы КУТ от воздухоподогревателя с промежуточным теплоносителем и подогревом питательной воды

Этим теплом можно подогреть ПВ от 50 °С до 75 °С.

Схема позволяет полностью снять тепло конденсации из продуктов сгорания, максимально осушить их разбавить горячим воздухом, что качественно улучшит условия работы дымососа и дымовой трубы. Температура уходящих газов из экономайзера и температура ПВ на входе в экономайзер повысится примерно на 20...30 градусов, что предохранит экономайзер от сернистой коррозии.

Данная схема конструктивно достаточно сложная. Она требует дополнительный циркуляционный контур с насосами для прокачки незамерзающей жидкости с расходом, обеспечивающим хороший коэффициент теплоотдачи.

### **Вторая схема использования тепла конденсации водяных паров из продуктов сгорания ВМЭ**

В качестве рабочей среды для охлаждения продуктов сгорания ниже точки росы используется часть питательной воды, охлаждённая в воздухоподогревателе (рис. 2).

КУТ-2 должен обеспечивать конденсацию водяных паров от температуры для части наших продуктов сгорания после КУТ-1 50 °С до 30 °С также, как и в рассмотренной ранее схеме  $Q_{\text{кон}} = 538 \text{ ккал/кг}$  с учётом байпасирования, обеспечивающего температуру продуктов сгорания, идущих к дымососу в 70 °С.

Из теплового баланса смеси продуктов сгорания получаем, что в КУТ необходимо направить 75 % продуктов сгорания.

Тогда  $Q_{\text{кон}}^p = 0,75 \cdot 538 = 403 \text{ ккал/кг}$ . Это с учётом потерь в окружающую среду составит  $0,98 \cdot 403 / 9329 = 0,043 = 4,3 \%$  от теплотворной способности мазута.

Количество тепла, которым можно нагреть воздух (температура  $-5^\circ\text{C}$ ), идущий в топку до температуры 40 °С при сгорания 1 кг ВМЭ составит:

$$Q_{\text{ВВП}} = \alpha_t V^0 c_v (t_{v2} - t_{v1}) = 1,1 \cdot 8,42 \cdot 0,31(40 + 5) = 117,46 \text{ ккал/кг},$$

а это только  $117,46 / 403 = 0,291 = 29,1 \%$  от требуемого для обеспечения конденсации в КУТ-2. Необходимо найти среду с низкой температурой для полезного её нагрева, подключённую параллельно с воздухоподогревателем с тепловой нагрузкой (рис. 4)  $Q_{\text{ПВВ}} = (1 - 0,291) 403 = 285,5 \text{ ккал/кг}$ .

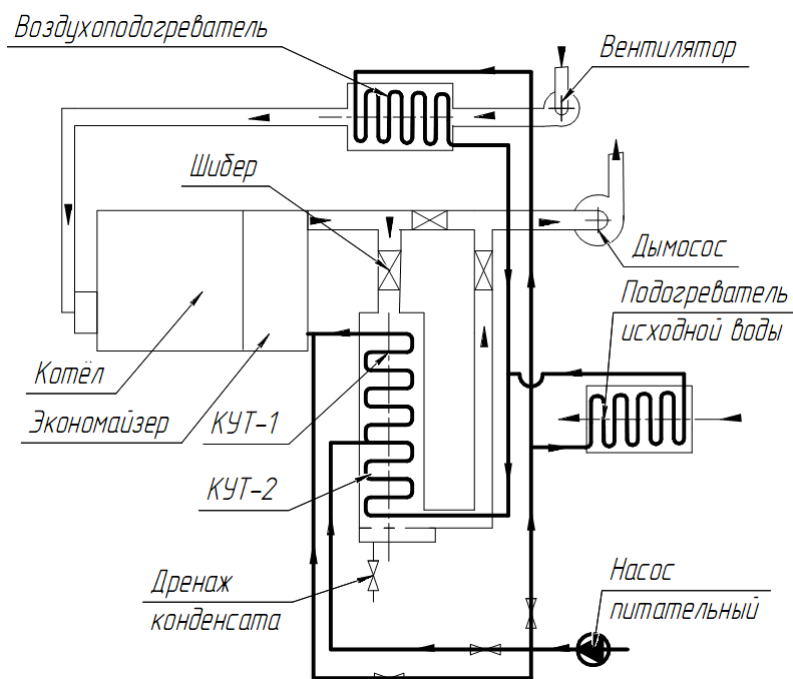


Рисунок 4 – Схема работы КУТ от воздухоподогревателя и подогревателя исходной воды частью питательной воды

Этим теплом можно нагреть исходную воду от температуры  $t_{\text{вн1}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  до температуры  $t_{\text{вн2}} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$  с расходом  $5,87 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Что составляет от производительности котла  $1,63/5,5 = 0,296 = 29,6 \%$ .

Температура питательной воды (ПВ) на входе в КУТ-2 (на выходе из воздухоподогревателя)  $t_{\text{пв12}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

При коэффициенте теплопередачи для конденсационной части КУТ-2, равном  $K = 65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) = 0,0155 \text{ ккал}/(\text{с м}^2 \cdot \text{К})$  и температурном напоре  $\Delta t = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$  получим его площадь:

$$F_{\text{КУТ2}} = V Q_{\text{кон}}^p / (K \cdot \Delta t) = 0,2 \cdot 403 / (0,0155 \cdot 17,5) = 297 \text{ м}^2.$$

Тепловая мощность утилизатора:

$$Q_{\text{ут}} = 0,75 V Q_{\Sigma} = 0,75 \cdot 0,2 \cdot 1381 = 207 \text{ ккал}/\text{с} = 868 \text{ кВт}.$$

Площадь теплообмена одной секции  $16 \text{ м}^2$ .

Количество секций КУТ-2:

$$Z_2 = F_{\text{КУТ2}} / H_{1c} = 297 / 16 = 18,6. \text{ Принимаем } 19.$$

При коэффициенте теплопередачи для конденсационной части КУТ-1, равном  $K = 45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) = 0,0107 \text{ ккал}/(\text{с м}^2 \cdot \text{К})$  и температурном напоре  $\Delta t = 45,5 \text{ }^\circ\text{C}$  получим его площадь  $85 \text{ м}^2$ .

Общее количество секций составит 25.

Стоимость одной секции утилизатора  $C_{1c} = 200 \text{ 000 руб.}$

В качестве воздухоподогревателя применим водяной калорифер КСк4-12 ценой  $C_{\text{КСк}} = 30 \text{ 000 руб.}$ , и подогревателя исходной воды ценой  $C_{\text{ВВП}} = 40 \text{ 000 руб.}$

Цена мазута  $C_{\text{м}} = 15 \text{ 000 руб.}$

Экономия топлива от применения утилизатора в год 415 т.

Окупаемость установки утилизатора составит 1,07 года

### **Выводы**

Использование воздуха в качестве охладителя рабочей среды и разбавления продуктов сгорания для обеспечения конденсационного охлаждения продуктов сгорания котлов, работающих на ВМЭ, позволяет повысить температуру уходящих газов за экономайзером, чем уменьшить коррозию хвостовых поверхностей и увеличить КПД котла на 4...7 %. Срок окупаемости модернизации не превышает 2 лет.

### **Библиографический список**

1. Тепловой расчёт котлов (нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Изд-во НПОЦКТИ, 1998. -266с. : ил.
2. Горностаев Л. С. Изменение тепловой экономичности энергоустановок при применении подогрева воздуха в калориферах котлов. – Теплоэнергетика, 1973, J® II, с. 40–41.
3. Горностаев Л. С. Энергетическая эффективность применяемых способов предварительного подогрева воздуха на действующих ТЭС. – Теплоэнергетика, 1975, JS 10, с. 53–60.
4. Патент РФ № 2588 897. УСТРОЙСТВО ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ПРОДУВОЧНОЙ ВОДЫ КОТЛОВ, Пантилеев С. П. и Пентин С. Э. 10.07.2016 Бюл. № 19: / 2016. – 10 с. : ил.

## Устройство для получения водомазутной эмульсии на продувочной воде паровых котлов

**Пантилеев С. П.** (*г. Мурманск, ФГБОУ ВО "Мурманский государственный технический университет", кафедра энергетики и транспорта*)

**Аннотация.** Предложена конструкция устройства для приготовления водомазутные эмульсии на базе продувочной воды парового котла.

**Abstract.** The design of the device for the preparation of water emulsion based on purge water steam boiler.

**Ключевые слова:** Газо-мазутные котлы; водомазутные эмульсии; диспергаторы мазута; продувка котла.

**Keyword:** Gas-oil boilers; water-oil emulsions; fuel oil dispersant; boiler purge.

Предлагаемое устройство относится к технике смешивания потоков жидкофазных сред и может быть использовано, например, в энергетике при разработке и изготовлении диспергаторов (кавитаторов, эмульгаторов), предназначенных для подготовки к сжиганию сернистых мазутов, содержащего воду.

Известен способ диспергирования жидкостей, включающий доведение параметров потока жидкостей до возникновения кавитации путем уменьшения сечения потока и последующего расширения сечения потока [1]. Сужение потока создают в плоском канале размещением цилиндрических тел.

Недостатком данного способа диспергирования является большая неравномерность диспергирования в поперечном сечении потока и большая энергоёмкость процесса. Не определена конструкция канала и в устройстве нет узла для подмешивания дополнительной жидкости к примеру продувочной воды паровых котлов.

Известно Устройство для утилизации тепла продувочной воды паровых котлов [2] (рис. 1). В нём продувочная вода используется для диспергирования мазута непосредственно в топочной камере котла в виде пересекающихся струй воды и мазута.

Недостатком данного способа диспергирования является большая неравномерность диспергирования в поперечном сечении потока и в следствии этого ухудшение качества горения смеси.

Известно также устройство для диспергирования жидкости [3] (рис. 2). В нём корпус выполнен в виде тела вращения, в котором установлено цен-

тральное тело в виде тела вращения и струеформирующие каналы, обеспечивающие закрутку потока. Струеформирующие каналы образованы из двух пакетов тонких пластин с окнами, повернутыми относительно друг друга относительно оси корпуса. Края окон в пластинах выполняют с острыми кромками.

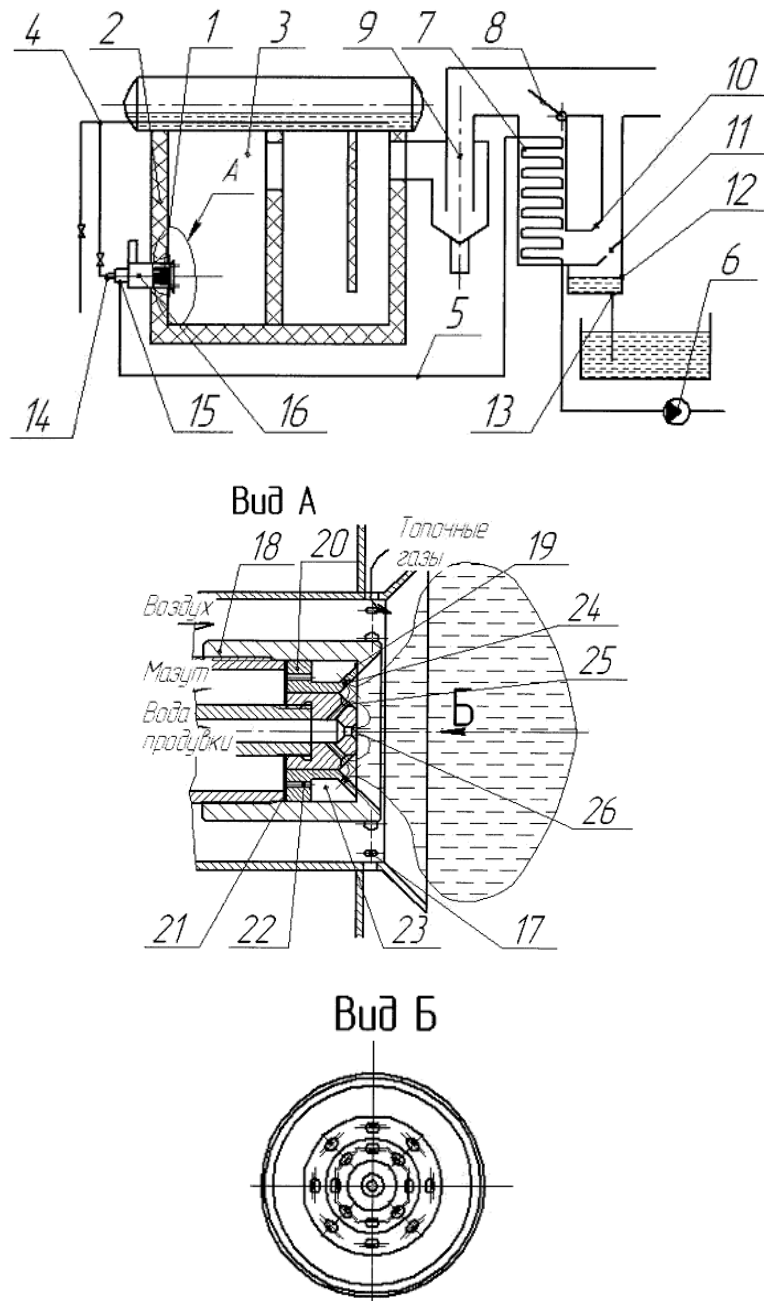


Рисунок 1 – Устройство по патенту РФ №2588897

Недостатком данного устройства диспергирования является сложность конструкции пакета тонких пластин с окнами, который состоит из двух типов пластин с окнами, которые удерживаются в определённом сдвинутом

относительно друг друга положении при помощи только сил трения, обеспечиваемых затяжкой болта. Также нет узла для подмешивания дополнительной жидкости к примеру продувочной воды паровых котлов.

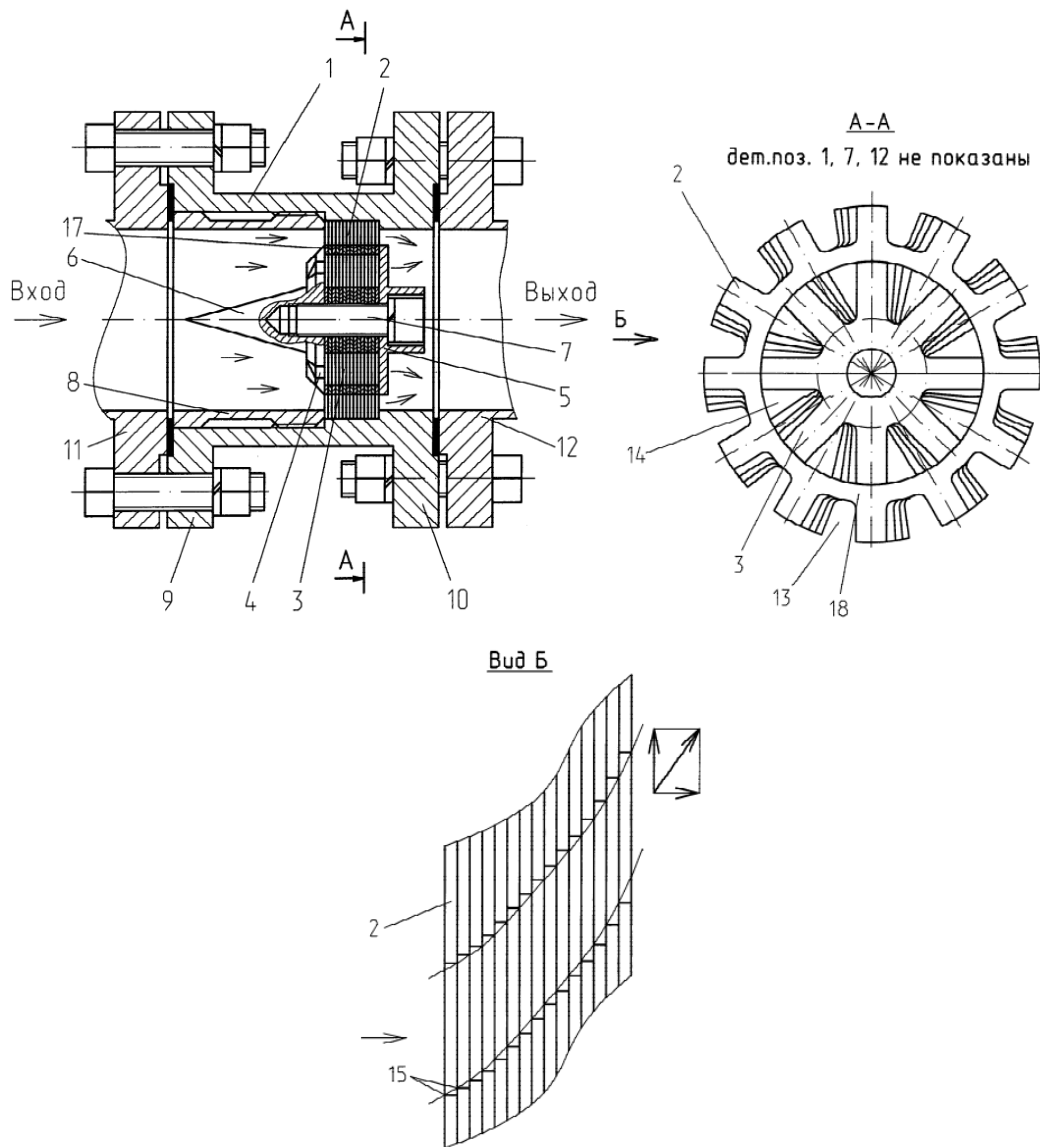


Рисунок 2 – Устройство по патенту РФ №2040320

Предлагаемое устройство (рис. 3) упрощает конструкцию диспергирующего пакета. Пакет состоит из одинаковых пластин с окнами, пластины сдвигаются конкретно на 9 градусов и фиксируются стопорными штифтами. Также устройство оснащено дополнительным эжектирующим устройством для качественного предварительного смешивания мазута и продувочной воды с целью образования высокодисперстной смеси.

Для получения такого технического результата в предлагаемом устройстве диспергирования жидкости, включающем корпус с внутренней поверхностью в виде тела вращения, установленное соосно оси внутренней поверх-



ности корпуса профилированное центральное тело в виде тела вращения, по крайней мере, одну перегородку, выполненную концентрично внутренней поверхности корпуса, струеформирующие каналы, обеспечивающие закрутки концентрических потоков относительно оси устройства, вызывающие кавитацию при обтекании их смесью жидкостей, струеформирующие каналы для закрутки потока смеси жидкостей образованы пакетом тонких пластин с окнами, имеющими острые кромки, повернутыми относительно друг друга относительно оси корпуса, отличающееся тем, что пакет собирается из 40 пластин, окна на пластинах выполнены равномерно на концентрической окружности так, чтобы при повороте на 9 градусов следующая пластина перекрывала половину отверстия на предыдущей пластине при фиксации их между собой при помощи двух штифтов и 40 отверстий на концентрической окружности, расположенной над окнами. К корпусу спереди крепится эжектирующее устройство для предварительного смешивания мазута и продувочной воды.

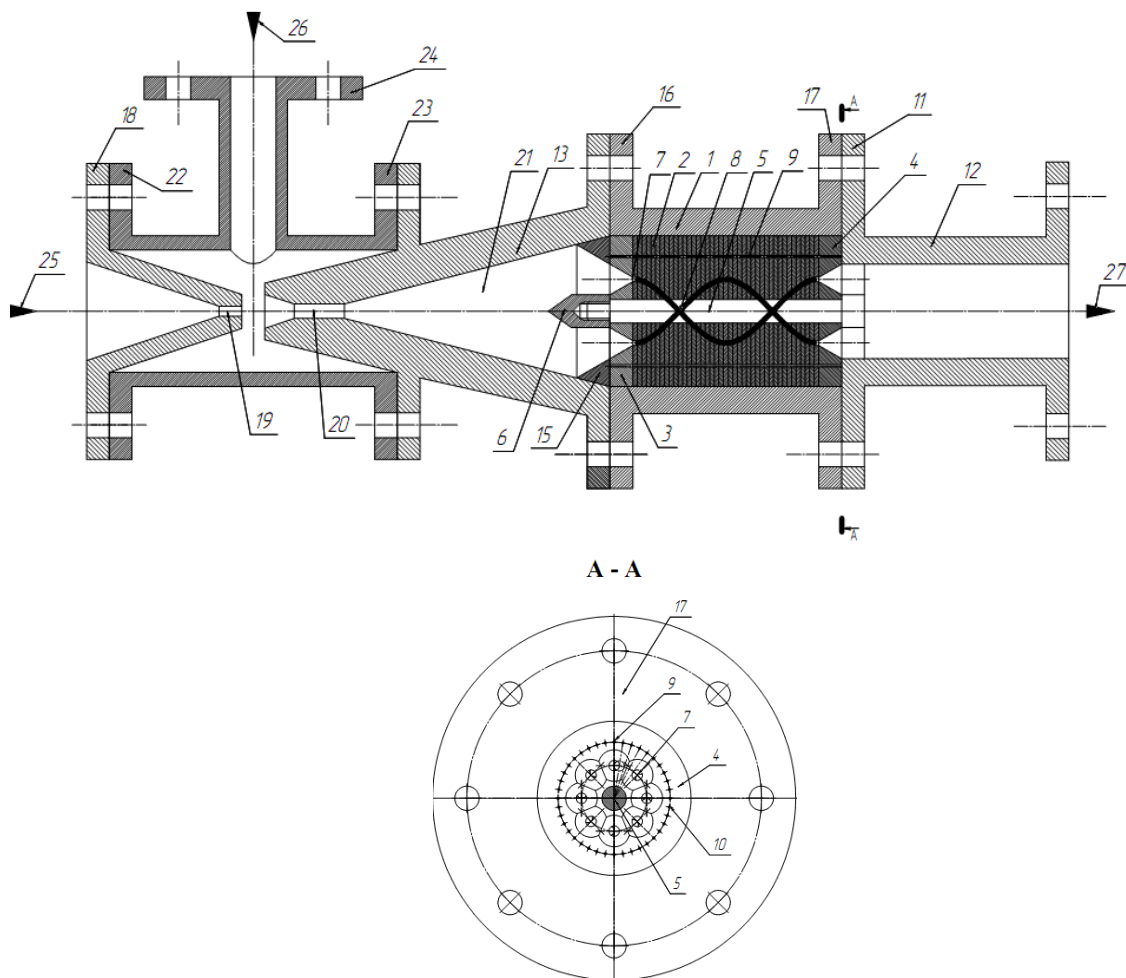


Рисунок 3 – Устройство для получения водомазутной эмульсии  
на продувочной воде паровых котлов

Предлагаемые устройство иллюстрируются рис. 3, на котором изображены: общий вид устройства для получения водоизутной эмульсии в разрезе; сечение А-А общего вида устройства.

Предлагаемое устройство содержит корпус 1 с внутренней поверхностью в виде тела вращения. Внутри корпуса 1 установлен пакет тонких пластин 2, стянутые между собой фигурными крышками 3 и 4 с помощью центрального болта 5 и гайки-обтекателя 6. Пластины 2 поочерёдно поворачиваются на 9 градусов так, чтобы каждое отверстие 7 на последующей пластине перекрывало на половину отверстия на предыдущей пластине, при помощи чего образуются струеформирующие коветирующие каналы спирального вида 8 с 40 сужениями и расширениями на полной их длине. Пластины 2, в соответствующих повёрнутых положениях фиксируются штырями 9 через отверстия 10 в пластинах 2 и крышках 3 и 4. Непосредственно в корпусе 1 пакет тонких пластин 2 в сборе фиксируется со стороны выхода потоков фланцем 11 переходника 12, а со стороны подачи потока фланцем 13 эжектирующего устройства 14 через упорное кольцо 15. Корпус 1 имеет фланцы 16

и 17, с помощью которых он устанавливается в разрыв трубопровода при помощи переходника 12 и эжектирующего устройства 14. Эжектирующее устройство 14 состоит из подающего фланца 18 с соплом 19, из фланца 13 со смесительной камерой 20 и диффузором 21. Между фланцами 13 и 18 закреплён на фланцах 22 и 23 блок подачи продувочной воды 24. Стандартный крепёж и уплотнения фланцевых соединений не показаны. Подогретый мазут подаётся в устройство по стрелке 25. Продувочная вода подаётся в устройство по стрелке 26. Готовая водомазутная смесь подаётся к форсунке по стрелке 27.

Устройство работает следующим образом.

Подвергаемые смешиванию и диспергированию компоненты подводят: мазут к эжектирующему устройству 14 – по стрелке 25, продувочную воду непосредственно из барабана парового котла – по стрелке 26. Размеры диаметра сопла 19 и диаметра смесительной камеры 20 рассчитываются для соответствующих давлений и расходов мазута и продувочной воды. После смешения мазута и продувочной воды в смесительной камере 20 смесь проходит через расширяющийся диффузор 21 и делится на несколько потоков, образованных в пакете пластин 2 с крышками 3 и 4. Потоки проходят по спи-

ральным каналам 8, где они 40 раз подвергаются резкому сужению затем резкому расширению при переходе из одной пластины в другую и на острых краях отверстий 7 подвергаются кавитации: мелко диспергированная вода при срыве потока после резкого сужения и резкого расширения вскипает, увеличиваясь в размерах и затем также резко конденсируется, чем многократно разрушает водяные включения и мазутные сгустки, уменьшая их размеры. После прохода спиральных каналов 8 смесь в виде закрученного потока высоко дисперстной смеси мазута и продувочной воды направляется к форсункам котла.

### **Выводы**

Предложенная конструкция устройства позволяет упростить конструкцию блока пластин, облегчить сборку всего устройства, обеспечить надёжность работы устройства, качественно смешать мазут и продувочную воду и диспергировать эту смесь. Также дополнительно щёлочность продувочной воды в смеси обеспечит нейтрализацию окислов серы в продуктах сгорания. Хорошо диспергированная вода в смеси обеспечит качественное распыление и горение мазута с уменьшением потерь от химического и механического недожогов. Снижение концентрации окислов серы в продуктах сгорания позволит охладить продукты сгорания до более низких температур, так как точка росы при снижении концентрации окислов серы в продуктах сгорания понижается до температур в 70...80 °С, что позволит значительно уменьшить самую большую потерю тепла в котле – с уходящими газами.

### **Библиографический список**

1. Патент РФ №2040320. способ диспергирования в жидких средах, Козюк О. В. 02.061991. опубл. 25.07.95.
2. Патент РФ № 2588 897. Устройство для утилизации тепла продувочной воды котлов, Пантिलеев С.П. и Пентин С.Э.10.07.2016. Бюл. № 19 / 2016. – 10 с. : ил.
3. Патент РФ № 2455056. Способ диспергирования жидкости и устройство для его осуществления, Ермаков В. А. и др. 20.12.2011. Опубл. 10.07.2012 Бюл. № 19.