

Оригинальная статья

УДК 556.388:628.394

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-95-101



## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПЕРМСКОГО КРАЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

**Карпенко Нина Петровна**<sup>1✉</sup>, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник

SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; npkarpenko@yandex.ru

**Ширяева Маргарита Александровна**<sup>2</sup>, младший научный сотрудник

SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861; Shiryaeva.MA@fncg.ru

<sup>1</sup> Всеоссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, корп. 2, Россия

<sup>2</sup> Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора; 141010, г. Мытищи, ул. Семашко, 2, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты обоснования размещения техногенной нагрузки под влиянием нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов на территории водосборной площади реки Кама с использованием ГИС-технологий. В основу обоснования положены карты защищенности грунтовых вод. В ходе исследования осуществлен анализ методов, позволяющих оценить степень естественной защищенности грунтовых вод. Также были рассчитаны показатели, которые дают качественную и количественную оценку с использованием разных категорий защищенности районов муниципального образования Пермского края. Проведены исследования в лабораторных условиях на содержание химических элементов, поступающих в поверхностные и подземные воды на территории Пермского края со стоками от нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий. По карте размещения техногенной нагрузки выявлены основные районы повышенного уровня загрязнения, которые соответствуют нефтедобывающим и нефтеперерабатывающим центрам Пермского края. По результатам к таким территориям были отнесены Березнико-Соликамский, Чайковский, Пермско-Краснокамский, Кунгурский, Лысьвинский, Чусовской, Кизеловско-Губахинский нефтепромышленные комплексы.

**Ключевые слова:** техногенная нагрузка, нефтедобывающая промышленность, нефтеперерабатывающий комплекс, защищенность грунтовых вод, ГИС-технологии, экологическая безопасность

**Формат цитирования:** Карпенко Н.П., Ширяева М.А. Оценка влияния нефтедобычи на качество водных объектов Пермского края с применением ГИС-технологий // Природообустройство. 2023. № 1. С. 95-101. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-95-101.

© Карпенко Н.П., Ширяева М.А., 2023

Original article

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF OIL PRODUCTION ON THE QUALITY OF WATER BODIES OF THE PERM TERRITORY USING GIS TECHNOLOGIES

**Karpenko Nina Petrovna**<sup>1✉</sup>, doctor of technical sciences, leading researcher

SPIN-код: 3054-6462, AuthorID: 532745; npkarpenko@yandex.ru

**Shiryaeva Margarita Alexandrovna**<sup>2</sup>, junior research assistant

SPIN-код: 4706-0330, AuthorID: 1081861; Shiryaeva.MA@fncg.ru

<sup>1</sup> All-Russian research institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyukov 127550, Moscow, Bolshaya Akademicheskaya street, 44, bld. 2, Russia

<sup>2</sup> The Federal Research Centre for Hygiene named after F.F. Erisman of Rosпотребнадзор, Mytishchi, Russian Federation

**Annotation.** The results of substantiation of the placement of technogenic load under the influence of oil-producing and oil-refining complexes on the territory of the catchment area of the Kama River using GIS technologies are presented. The justification is based on maps of groundwater vulnerability. The research involved an analysis of methods to assess the natural groundwater vulnerability, as well as the calculation of indicators allowing a qualitative and quantitative assessment using different vulnerability categories of municipal areas of the Perm Kray. Investigations were carried out

*under laboratory conditions on the content of chemical elements entering surface and ground waters in the territory of the Perm Krai with runoff from oil production and oil industry enterprises. The main areas of high contamination have been identified on the technogenic exposure map. The areas correspond to the oil producing and refining centers of the Perm Krai. According to the results, Berezniko-Solikamsky, Chaikovskiy, Perm-Krasnokamsky, Kungursky, Lysvinsky, Chusovskoy, Kizelovskiy-Gubakhinsky oil industry complexes have been assigned to such areas.*

**Keywords:** *technogenic impact, oil industry, oil refining complex, groundwater protection, GIS technologies, environmental safety*

**Format of citation:** *Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. Assessment of the impact of oil production on the quality of water bodies of the Perm Territory using GIS technologies // Prirodoobustroystvo. 2023. No.1. S. 95-101. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-95-101.*

**Введение.** По данным исследований [1, 2], в последние годы все больше становится масштабным загрязнение поверхностных и подземных вод различными органическими высокотоксичными веществами. Загрязнение вод нефтепродуктами и их производными обращает на себя особое внимание, так как нефтепромысел, нефтепереработка, нефтехимический комплекс являются одними из лидирующих загрязнителей по степени воздействия на компоненты окружающей среды. Актуальность проблемы загрязнения нефтепродуктами, фенолами, бенз(а)пиреном и другими органическими высокотоксичными и поверхностно-активными веществами в Пермском крае объясняется наличием большого количества потенциальных источников загрязнения, а именно нефтяных предприятий, включающих в себя нефтедобычу и нефтепереработку.

Зафиксированы официальные источники сброса сточных вод, которые представляют собой высокую опасность для водных объектов Пермского края. Шламонакопители, места хранения отходов, накопление нефтепродуктов, утечки, аварийные разливы являются следствием загрязнения почв и грунтов органическими поллютантами [2].

Известно, что самые высокие техногенные нагрузки возникают в водных объектах, прилегающих к территории нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов. Нефтеперерабатывающие комплексы производят стоки, загрязненные нефтью, сероводородом, сернистым аммонием, фенолом, сульфатами, ароматическими углеводородами, жирными кислотами [3].

Сбросы в поверхностные водные источники оказывают негативное влияние на качество воды, санитарные условия и водопользование населения. Нефть и продукты ее переработки загрязняют водоемы, расположенные на значительном расстоянии от места сброса сточных вод (иногда за сотни километров). Сточные воды являются источником загрязнения и повышения уровня грунтовых вод ввиду утечек из очистных сооружений и взаимосвязанных труб канализационной сети. Отсутствие дренажа вокруг участка

и отсутствие организованного отвода грунтовых вод с участка, особенно на склонах, также способствуют распространению загрязнения грунтовых и поверхностных вод не только в пределах участка, но и за его пределами [3].

Негативные последствия, вызванные экстенсивной антропогенной и техногенной нагрузкой, отражаются на всех компонентах природной среды.

Известно, что подземные воды достаточно хорошо защищены от высокого уровня загрязнения различными поллютантами. Поверхностные воды являются недостаточно хорошо защищенными объектами в связи с близостью к поверхности и источнику загрязнения. Несмотря на то, что водоносные горизонты перекрыты толщей слабопроницаемых пород, иногда толщина может являться водопроницаемой и имеет незначительную мощность. Это может стать причиной быстрого проникновения поллютантов в водоносный горизонт [4, 5].

**Материалы и методы исследований.** Пермский край отличается от многих регионов страны богатой сырьевой базой. Несмотря на то, что минерально-сырьевые запасы оцениваются как средние, исследуемый регион обладает высоким качеством сырья. Основные объекты нефтепромысла Пермского края расположены в Соликамске, Нефтекамске, Куединском районе, Березниках.

Правобережная часть р. Камы и ее притоков характеризуется интенсивным выходом нефтепродуктов с подземными водами в период летней межени. На территории водосбора р. Камы в Пермском крае располагаются крупные нефтяные месторождения.

Для оценки влияния нефтеперерабатывающих предприятий на качественный состав водных объектов было изучено химическое и гигиеническое состояние рек Кама, Чусовая, Вишера и подземных вод, протекающих в районе расположения промышленных предприятий. Выбор этих водотоков обусловлен тем, что реки протекают по территории промышленной зоны нефтеперерабатывающего комплекса.

Оценка загрязнения воды поверхностных водоемов производилась по следующим показателям: кислород, БПК<sub>5</sub>, хлориды, сульфаты (SO<sub>4</sub>), аммоний-ион (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), нитриты (NO<sub>2</sub>), нитраты (NO<sub>3</sub>), железо общее, медь, цинк, никель, марганец, фенолы (летучие), нефть и нефтепродукты, ароматические углеводороды (ПАУ). Наблюдение за химическим составом грунтовых вод проводилось по показателям: водородный показатель (рН), общая минерализация, жесткость общая, окисляемость перманганатная, нефтепродукты (суммарно), фенол, формальдегид, бенз(а)пирен, хлориды, сульфаты, нитраты, нитриты, фторид-ион (F), бензойная кислота, железо (Fe<sub>общ</sub>), кальций, магний, цинк, хром, кадмий, марганец, ртуть, свинец, медь, никель.

Карты защищенности грунтовых вод строились на основе получения геологических, литологических, гидрогеологических и гидрологических данных. Производился синтез (наложение слоев) карт с помощью геоинформационных систем (ГИС), а именно QGIS3.22 с разработанным модулем Python по синтезированию смежных карт. После соединения слоев и оценки нагрузки на каждый район исследуемой территории строится карта техногенной нагрузки [6].

Природные, техногенные и антропогенные, физико-химические факторы имеют взаимосвязь с выявлением степени защищенности грунтовых вод [7, 8].

Анализируя различные методики оценки естественной защищенности подземных вод (а в данных исследованиях – грунтовых), пришли к выводу о том, что важно учитывать такие

показатели, как проницаемость, мощность, состав горных пород в зоне аэрации [9, 10].

Выбранный метод основан на расчете времени фильтрации поллютантов для безнапорных горизонтов. Иными словами, защищенность грунтовых вод будет выше, если больше времени будет затрачено на фильтрацию, и соответственно степень защищенности грунтовых вод будет ниже, если отрезок времени, предназначенный для фильтрации, будет коротким [11, 12].

Оценка защищенности подразделяется на качественную и количественную. Для качественной оценки защищенности грунтовых вод суммируются баллы по уровням грунтовых вод, мощности, глубине, особенностям пород и др. (табл. 1).

Для оценки защищенности грунтовых вод по количественному методу ведется учет времени достижения поллютантов уровня безнапорных горизонтов. По количественной оценке время, затраченное на достижение грунтовых вод, определяется зависимостью [12]:

$$t = \frac{n_1 T}{k_1 w} \ln \left[ 1 + \frac{k_1 m_1}{k_2 m_2} \right],$$

где  $k_p$ ,  $n_p$ ,  $m_1$  – коэффициент фильтрации, активная пористость и мощность верхнего слоя;  $k_2$ ,  $m_2$  – коэффициент фильтрации и мощность нижнего слоя;  $T$  – суммарная проницаемость пласта,  $w$  – интенсивность инфильтрационного питания.

**Результаты и их обсуждение.** После поступления стоков с нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий в воде р. Камы

Таблица 1. Качественная оценка защищенности безнапорных водоносных горизонтов [7]

Table 1. Qualitative assessment of the protection of non-pressurized aquifers [7]

Параметр / Parameter	Диапазон изменения / Range of change	Балл / Point		
Глубина залегания УГВ, м <i>Depth of UGB bedding (groundwater level), m</i>	< 10	1		
	10-20	2		
	20-30	3		
	30-40	4		
	> 40	5		
Мощность слабопроницаемых пород, м <i>Power of weakly permeable rocks, m</i>		Группа отложений / Group of sediments		
		A	B	C
	< 2	1	1	2
	2-4	2	3	4
	4-6	3	4	6
	6-8	4	6	8
	8-10	5	7	10
	10-12	6	9	12
	12-14	7	10	14
	14-16	8	12	16
	16-18	9	13	18
	18-20	10	15	20
	> 20	12	18	25

наблюдались уменьшение содержания показателя БПК<sub>5</sub> и значительное увеличение содержания нитратов (до 6,70 мг/л), хлоридов (до 200 мг/л), сульфатов (до 98,3 мг/л), нефтепродуктов (до 0,22 мг/л). Уровень распространения загрязняющих веществ прослеживается на большом протяжении реки. Так, содержание нефтепродуктов в водном объекте в концентрациях, выше допустимых величин, обнаруживается в пункте наблюдения г. Чайковский, то есть на расстоянии 500 км после поступления стоков НПК (табл. 2).

По оценке химического состава грунтовых вод по скважинам было выявлено, что грунтовые воды подвержены загрязнению нефтепродуктами (до 0,92 мг/л), фенолами (до 0,0016 мг/л) и хлоридами (до 90,25 мг/л). Это объясняется тем, что на исследуемом участке стоки с нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов попадают в грунт (табл. 3).

В целях построения карты категорий защищенности грунтовых вод Пермского края от поллютантов, поступающих с нефтепромышленных комплексов и других источников поверхностной контаминации, изучены геологические и гидрогеологические условия (рис. 1).

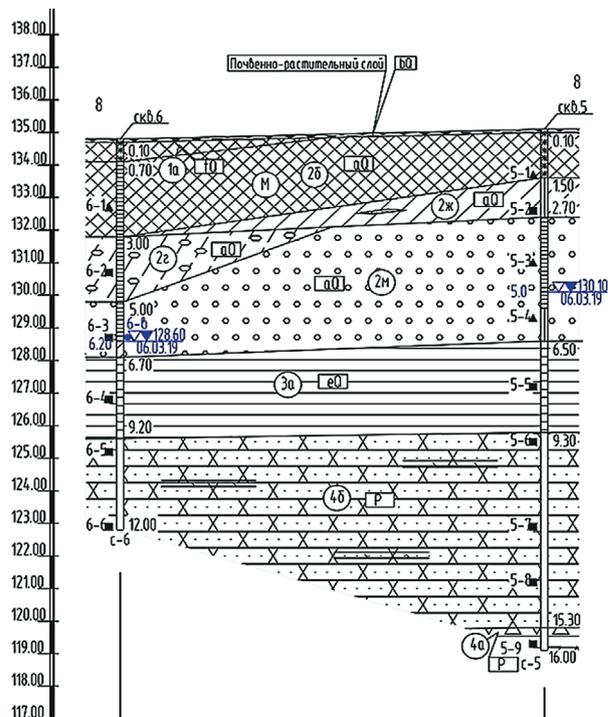


Рис. 1. Геологический разрез в районе города Пермь

Fig. 1. Geological section in the area of the city of Perm

Таблица 2. Химический состав поверхностных вод в р. Кама, июль 2021 г.

Table 2. Chemical composition of surface waters in the Kama River, July 2021

Показатель (мг/л) Indicator (mg/l)	Пункты отбора проб / Sampling points					
	Соликамск Solikamsk	Березники Berezniki	Добрянка Dobryanka	Пермь Perm	Краснокамск Krasnokamsk	Чайковский Chaikovsky
Растворимый кислород Soluble oxygen	9,00	9,25	9,35	9,43	9,49	9,62
БПК <sub>5</sub> (мг/О <sub>2</sub> /л) / BOD <sub>5</sub> (mg/O <sub>2</sub> /l)	3,10	2,75	2,34	1,99	1,47	1,07
Сульфаты / Sulfates	23,12	48,09	36,87	56,05	78,88	100,43
Нитраты / Nitrates	1,22	5,46	3,25	6,70	2,99	2,56
Хлориды / Chlorides	59,03	200,04	45,22	19,40	54,93	75,02
Медь / Copper	0,0032	0,0046	0,0021	0,0016	0,0029	0,0034
Цинк / Zinc	0,005	0,005	0,0034	0,0030	0,0036	0,0024
Нефтепродукты / Oil products	0,12	0,22	0,20	0,20	0,16	0,16
Фенолы летучие / Volatile phenols	0,0015	0,0015	0,0012	0,0010	0,0012	0,0010
ПАУ (бензпирен, мкг/л) PAHs (benzpyrene, mkg/l)	0,0010	0,0052	0,0012	0,0012	0,0010	0,0010

Таблица 3. Химический состав грунтовых вод на водосборе р. Кама, 2021 г.

Table 3. Chemical composition of groundwater in the catchment area of the Kama River, 2021

Показатель (мг/л) Indicator (mg/l)	Номера скважин отбора проб / Sampling well numbers			
	Соликамск Solikamsk	Березники Berezniki	Пермь Perm	Чайковский Chaikovsky
Хлориды / Chlorides	14,00	66,23	90,25	83,12
Минерализация / Mineralization	745	402	1030	1569
Фенолы / Phenols	0,0012	0,0016	0,0012	0,0010
Нитриты / Nitrites	0,010	0,009	0,009	0,008
Нефтепродукты / Oil products	0,020	0,92	0,022	0,018
Бензол / Benzol	0,02	0,08	0,01	не обнаружено not detected

Для качественной оценки защищенности грунтовых вод по всем параметрам производилось суммирование баллов, и общая сумма баллов определяла категории защищенности грунтовых вод (балльная оценка) (рис. 2).

Результаты по расчету категории защищенности грунтовых вод конкретных районов Пермского края представлены на рисунке 3.

В результате расчетов по качественной и количественной оценке были составлены две карты защищенности грунтовых вод (рис. 4).

Для оценки степени техногенной нагрузки необходимо было получить данные о территориальном планировании Пермского края, о химическом качестве поверхностных и подземных вод, прилегающие к водосборной площади нефтедобывающие и нефтеперерабатывающие комплексы [13, 14]. На последнем этапе исследований тематические карты совмещались друг с другом для получения общей картины с учетом территориального планирования и размещения особо загрязненных участков исследуемого района с выделением зон наиболее высокой техногенной нагрузки методом суммирования растровых тематических карт (рис. 5).

Были выделены такие уровни техногенной нагрузки на территории водосбора р. Камы Пермского края, как низкий, умеренный, средний, высокий, очень высокий и чрезвычайно высокий. Каждому уровню соответствует интегральный коэффициент. На карту занесены основные предприятия нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, уровни загрязнения поверхностных и грунтовых вод согласно проведенному химическому анализу.

Были выделены такие уровни техногенной нагрузки на территории водосбора р. Камы Пермского края, как низкий, умеренный, средний, высокий, очень высокий и чрезвычайно высокий. Каждому уровню соответствует интегрированный индекс.

К благоприятным территориям с низким уровнем техногенной нагрузки были отнесены районы северной, северо-западной и западной

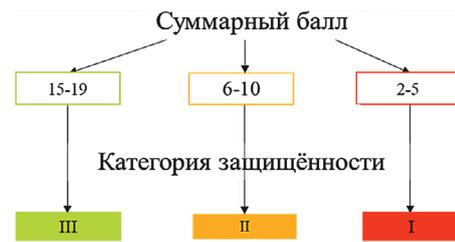


Рис. 2. Методика определения категорий по качественному анализу защищенности грунтовых вод

Fig. 2. Method for determination of categories according to the qualitative analysis of groundwater protection

Районы III категории защищенности грунтовых вод		Районы II категории защищенности грунтовых вод		Районы I категории защищенности грунтовых вод	
Чердынский	17	Александровский	8	Солкамский	3
Гайнский	18	Карагайский	6	Усольский	3
Красновишерский	18	Очерский	7	Добрянинский	2
Косинский	17	Частинский	7	Гремячинский	2
Кочевский	17	Осинский	7	Горнозаводский	2
Юрлинский	16	Кунгурский	6	Чусовской	3
Кудымкарский	15	Лысьвенский	6	Пермский	5
Юсьвинский	15	Кишертский	6	Березовский	2
Ильинский	16	Октябрьский	8	Ординский	2
Сивинский	15			Чернушкинский	3
Верещагинский	15			Куединский	5
Оханский	15				
Большесосновский	16				
Еловский	17				
Уинский	15				
Суксунский	16				

Рис. 3. Показатели качественной оценки защищенности грунтовых вод согласно муниципальным образованиям Пермского края

Fig. 3. Indicators of qualitative assessment of groundwater protection according to municipalities of the Perm Krai

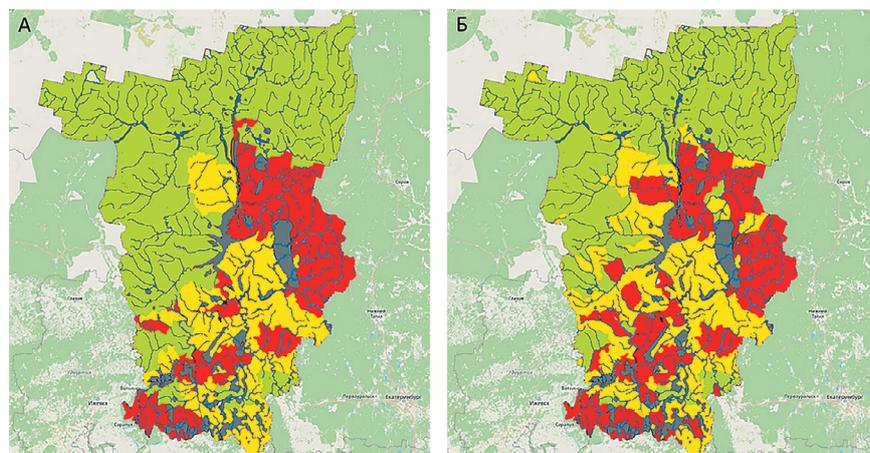


Рис. 4. Карты защищенности грунтовых вод района исследований:

А – по качественной оценке; Б – по количественной оценке

Fig. 4. Maps of groundwater protection of study area: A – by qualitative assessment, B – by quantitative assessment

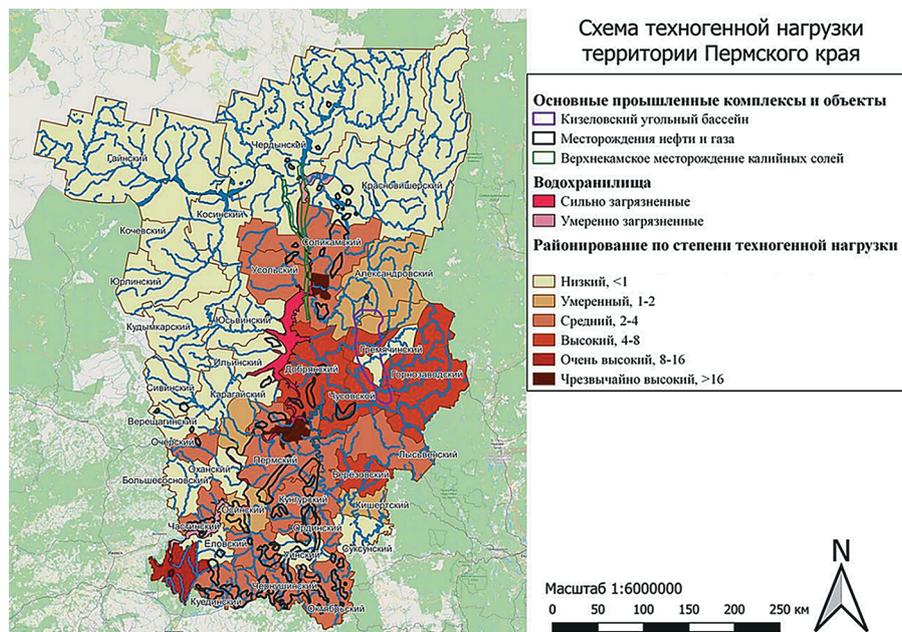


Рис. 5. Районирование по техногенной нагрузке, оказываемой на грунтовые и поверхностные воды территории Пермского края на водосборе р. Камы

Fig. 5. Zoning according to the technogenic load exerted on groundwater and surface water of the territory of the Perm Krai on the catchment of the Kama River

части: например, Чердынский, Большесосновский, Сивинский, Карагайский, Гайнский районы. В данном случае это объясняется тем, что нефтедобывающие комплексы не оказывают влияния на водные объекты, так как находятся ниже по течению водной артерии – р. Камы.

К неблагоприятным территориям с высоким коэффициентом техногенной нагрузки были отнесены южная и центральная части водосборной площади р. Камы. Неблагополучность территорий обосновывается близостью крупнейших комплексов месторождений, относящихся к районам городов Березники, Соликамск, Пермь, Усолье. На южных территориях водосбора р. Камы наблюдается высокая степень загрязнения водных объектов в связи с диффузным стоком поллютантов, их накоплением и довольно близким расположением к месторождениям нефти и газа.

### Выводы

Для оценки степени загрязнения поверхностных и подземных вод были проведены лабораторные исследования на содержание таких химических элементов, как нефтепродукты,

#### Список использованных источников

1. Гольдберг В.М. Взаимосвязь изменения загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 248 с.
2. Бактыбаева З.Б., Сулейманов Р.А., Валева Т.К., Рахматуллин Н.Р. Оценка воздействия нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности

фенолы, ПАУ. В ходе экспериментальной части была выявлена в поверхностных водах тенденция увеличения загрязняющих веществ у крупных нефтепромышленных центров. Уровень распространения загрязняющих веществ наблюдался на протяжении реки. Выявлены участки, где превышаются значения ПДК по нефтепродуктам и сульфатам. Химический анализ подземных вод показал, что превышение значений ПДК фенолов и нефтепродуктов было на территориях городов Березники и Пермь.

Таким образом, было выявлено и обосновано негативное влияние нефтедобывающих комплексов на водные объекты.

Для оценки защищенности грунтовых вод были построены карты с помощью ГИС-технологий в программе QGIS с разработанным модулем синтезирования смежных слоев карт.

Выделены наиболее неблагоприятные районы, соответствующие крупнейшим промышленным узлам и зонам края (Пермско-Краснокамскому, Березниковско-Соликамскому, Лысьвинско-Чусовскому, Кизеловско-Губахинскому, Чайковскому, Кунгурскому). Относительно благоприятными согласно исследованию и по техногенному воздействию на грунтовые воды (за исключением локальных участков) являются северные и западные районы края (Чердынский, Ильинский, Сивинский муниципальные районы), а также все районы Коми-Пермяцкого округа.

Разработанная карта обоснования размещения техногенной нагрузки, полученной методом синтезирования карт естественной защищенности грунтовых вод от поверхностных источников загрязнения, позволяет своевременно планировать различные виды нагрузок на окружающую среду, а также повысить уровень экологической безопасности в исследуемом регионе.

#### References

1. Goldberg V.M. Vzaimosvyaz izmeneniya zagryazneniya podzemnykh vod i prirodnoy sredy. L.: Gidrometeoizdat. 1987. 248 s.
2. Baktybayeva Z.B., Suleymanov R.A., Valev T.K., Rakhmatullin N.R. Otsenka vozdeystviya neftepererabatyvayushhej i neftehimicheskoj promyshlennosti

на эколого-гигиеническое состояние объектов окружающей среды и здоровье населения (обзор литературы) // Медицина труда и экология человека. 2018. № 4 (16). С. 12-26.

3. **Anvarovich R., Bakirov A., Gimranova G., Valeev T.** Hygienic assessment of health risks of the population living in the areas of intensive oil extraction // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9, № 26. С. 97-104.

4. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A., Bogomazova Y.S.** Calculation methods of groundwater backwater in the zone of influence of hydraulic structures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Т. 723, № 5. С. 052006.

5. **Карпенко Н.П.** Оценка геоэкологической ситуации речных бассейнов на основе атрибутивных показателей и обобщенных геоэкологических рисков // Природообустройство. 2018. № 2. С. 15-22.

6. **Белоусова А.П., Меняева Ю.В., Руденко Е.Э.** Методы оценки защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению в регионах со сложной экологической ситуацией // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3, № 2. С. 100-130.

7. **Карпенко Н.П.** Аналитический подход в вопросах изучения экологических проблем на водосборных бассейнах // Труды XXII Международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем», декабрь 2014 г. М.: РГГУ, 2014. С. 196-198.

8. **Карпенко Н.П., Ширяева М.А.** Гидрогеоэкологическое обоснование размещения техногенной нагрузки с использованием синтезированных карт естественной защищенности грунтовых вод // Природообустройство. 2020. № 3. С. 114-122.

9. **Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О.** Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды: монография. М.: Изд-во «Мирнауки», 2017. 191 с

10. **Shiryayeva M., Bakshtanin A.** Mathematical justification constructive solutions project to modernize sewage treatment plants in the HPP // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022. Т. 2632, № 1. С. 020007.

11. **Шестаков В.М.** Гидрогеодинамика: учебник. 3-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.

12. **Карпенко Н.П., Ломакин И.М.** Гидрогеологический анализ современного состояния качества подземных вод Московского региона // Природообустройство. 2020. № 4. С. 128-136.

13. **Даль Л.И.** Методология анализа и оценки медико-экологических опасностей и рисков // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 4. С. 411-415.

#### Критерии авторства

Карпенко Н.П., Ширяева М.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

#### Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 22.11.2022

Одобрена после рецензирования 11.01.2023

Принята к публикации 15.01.2023

na ekologo-gigienicheskoe sostoyanie objektov okruzhayushchej sredy i zdorovje naseleniya (obzor literatury) // Meditsina truda i ekologiya cheloveka. 2018. № 4 (16). S. 12-26.

3. **Anvarovich R., Bakirov A., Gimranova G., Valeev T.** Hygienic assessment of health risks of the population living in the areas of intensive oil extraction // Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9. No. 26. pp. 97-104.

4. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A., Bogomazova Y.S.** Calculation methods of groundwater backwater in the zone of influence of hydraulic structures // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 723. No. 5. P. 052006.

5. **Karpenko N.P.** Otsenka geoekologicheskoy situatsii rechnyh bassejnov na osnove atributivnykh pokazatelej i obobshchennykh geoekologicheskikh riskov // Prirodobustrojstvo. 2018. № 2. S. 15-22.

6. **Belousova A.P., Menyayeva Yu.V., Rudenko E.E.** Metody otsenki zashchishchennosti i uyazvimosti podzemnykh vod k zagryazneniyu v regionah so slozhnoy ekologicheskoy situatsiej // Ekosistemy: ekologiya i dinamika. 2019. – Т. 3. № 2. С. 100-130.

7. **Karpenko N.P.** Analiticheskij podhod v voprosah izucheniya ekologicheskikh problem na vodosbornykh bassejnah / Trudy XXII mezhdun. konf. «Problemy upravleniya bezopasnostyu slozhnykh sistem», dekabr 2014 g. M.: RGGU, 2014. S. 196-198. Analytical approach to the study of environmental problems in catchment basins / Proceedings of the XXII International Conference «Problems of safety

8. **Karpenko N.P., Shiryayeva M.A.** Gidrogeologicheskoe obosnovanie razmeshcheniya tehnogennoj nagruzki s ispolzovaniem sintezirovannykh kart estestvennoj zashchishchennosti gruntovykh vod // Prirodobustrojstvo. 2020. № 3. S. 114-122.

9. **Zlobina V.L., Medovar Yu.A., Yushmanov I.O.** Transformatsiya sostava i svoystv podzemnykh vod pri izmenenii okruzhayushchej sredy. M.: Izd-vo «Mirnauki», 2017. 191 s.

10. **Shiryayeva M., Bakshtanin A.** Mathematical justification constructive solutions project to modernize sewage treatment plants in the HPP // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2022. С. 020007.

11. **Shestakov V.M.** Gidrogeodinamika: uchebnik. 3-e izd. – M.: Izd-vo MGU, 1995. – 368 s.

12. **Karpenko N.P., Lomakin I.M.** Gidrogeologicheskij analiz sovremennogo sostoyaniya kachestva podzemnykh vod Moskovskogo regiona // Prirodobustrojstvo. 2020. № 4. S. 128-136.

13. **Dal L.I.** Metodologiya analiza i otsenki mediko-ekologicheskikh opasnostej i riskov // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii. 2016. № 4. S. 411-415.

#### Criteria of authorship

Karpenko N.P., Shiryayeva M.A. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

#### Contributions of the authors

All the authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 22.11.2022

Approved after reviewing 11.01.2023

Accepted for publication 15.01.2023