

# КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

*Яценко И.Г., Алексеева М.Н., Перемитина Т.О.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти  
Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН), г. Томск

[sric@ipc.tsc.ru](mailto:sric@ipc.tsc.ru)

На нефтедобывающих территориях Западной Сибири неблагоприятное воздействие на состояние окружающей природной среды оказывают многочисленные антропогенные факторы, среди которых – функционирование объектов топливно-энергетического и промышленного комплексов, удовлетворение хозяйственно-бытовых и транспортных нужд населения и возникновение чрезвычайных ситуаций. Анализ состояния окружающей среды подразумевает сбор, хранение и обработку данных о количестве и составе загрязнителей в природных компонентах. В данной статье описан комплексный подход к анализу состояния окружающей среды нефтедобывающих регионов с использованием методов статистического анализа, геоинформационных технологий и данных дешифрирования космических снимков (КС). В работе приведена сравнительная характеристика и комплексная оценка экологического состояния нефтедобывающих районов с применением стандартных средств геоинформационных систем, специально разработанного программного обеспечения и данных космического зондирования, что и определяет цель работы.

## Сравнительный анализ состояния окружающей среды нефтедобывающих районов с применением метода главных компонент

Как известно, в нефтедобывающих районах неблагоприятное воздействие на состояние природных компонентов окружающей среды оказывают факторы строительства и эксплуатации объектов топливно-энергетического, промышленного и жилищно-коммунального комплексов. В данной работе проводилась оценка экологического состояния нефтедобывающих районов азиатской части России в сравнении с другими ее субъектами. Был применен подход с использованием методов пространственного анализа и метода главных компонент (МГК) в среде геоинформационной системы (ГИС). Известно, что МГК применяется для статистического анализа характеристик различных объектов исследования, а метод пространственного анализа - для описания пространственных свойств объектов. Для реализации предложенного в данной работе подхода разработаны алгоритмы и программный комплекс анализа многомерных разнородных данных, использующий средства ГИС [1].

В таблице 1 приведен перечень административных субъектов РФ, включенных в анализ, с указанием для нефтедобывающих регионов количества месторождений, объема добычи нефти и конденсата [2, 3].

**Таблица 1. Перечень административных субъектов азиатской части РФ, включенных в анализ**

№	Субъект РФ	Количество месторождений	Добыча нефти и конденсата в России в 2010 г.	
			млн.т	% добычи в РФ
Западная Сибирь				
0	Республика Алтай			
1	Алтайский край			

2	Кемеровская область			
3	Новосибирская область	19	1,3	0,3
4	Омская область	5	0,8	0,2
5	Томская область	182	10,6	2,1
6	Тюменская область	27	5,2	1
7	Ханты-Мансийский АО	362	265,9	52,6
8	Ямало-Ненецкий АО	249	34,5	6,8
Восточная Сибирь				
9	Республика Бурятия			
10	Республика Тыва			
11	Республика Хакасия			
12	Красноярский край	42	12,9	2,5
13	Таймырский АО	17		
14	Эвенкийский АО	10		
15	Иркутская область	63	3,3	0,7
16	Усть-Ордынский Бурятский АО			
17	Читинская область			
18	Агинский Бурятский АО			
Дальний Восток				
19	Республика Саха (Якутия)	52	3,5	0,7
20	Еврейская автономная область			
21	Чукотский АО	3		
22	Приморский край			
23	Хабаровский край			
24	Амурская область			
25	Камчатская область	2		
26	Корякский АО			
27	Магаданская область	2		
28	Сахалинская область	62	14,8	2,9

В данной работе был сформирован массив данных со значениями трех удельных показателей загрязнения окружающей среды территорий Западно-Сибирского, Восточно-Сибирского и Дальне-Восточного районов (по данным за 1998 г.): количество выброшенных загрязняющих веществ в атмосферу ( $\text{т/км}^2$ ); объем сброшенных загрязняющих сточных вод в поверхностных водных объектах ( $\text{м}^3/\text{км}^2$ ); количество образованных токсичных отходов ( $\text{т/км}^2$ ) [4].

Дополнительно к удельным показателям была включена ранжированная характеристика состояния здоровья населения рассматриваемых регионов, которая является интегральной оценкой состояния здоровья по семи следующим показателям [4]:

1. общее число случаев заболеваний в расчете на 1000 человек населения;
2. заболеваемость злокачественными новообразованиями на 100 000 человек населения;
3. заболеваемость детей злокачественными новообразованиями на 100 000 человек населения;
4. общее число впервые установленных заболеваний детей в расчете на 100 000 детей;
5. общая смертность населения на 1000 человек;
6. младенческая смертность (число детей, умерших в возрасте до 1 года, в расчете на 1000 родившихся);
7. число родившихся на 1000 человек населения.

МГК - анализ всего массива данных (29 административных регионов) по четырем характеристикам (3 удельных показателя загрязнений и характеристика состояния здоровья)

показал, что первая главная компонента описывает 99,9 % общей дисперсии, что позволяет рассматривать одномерное пространство первой главной компоненты (ГК 1). На рис. 1 показаны значения первой главной компоненты (в относительных единицах) для 29-и перечисленных в таблице 1 субъектов РФ. Результаты анализа для территорий Западной Сибири показали, что максимальные значения первой главной компоненты имеет Кемеровская область № 2 (160 отн. ед.), не имеющая нефтедобывающей промышленности. Из нефтедобывающих регионов Западной Сибири наибольшие значения первой главной компоненты характерны для Омской № 4 (17 отн. ед.) и Тюменской № 6 (5 отн. ед.) областей. Нефтедобывающие центры Западной Сибири (Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий АО и Томская область) характеризуются низкими значениями первой главной компоненты (примерно 2 - 3 отн. ед.), что свидетельствует о относительно невысоком уровне загрязнения окружающей среды по сравнению с другими субъектами РФ.

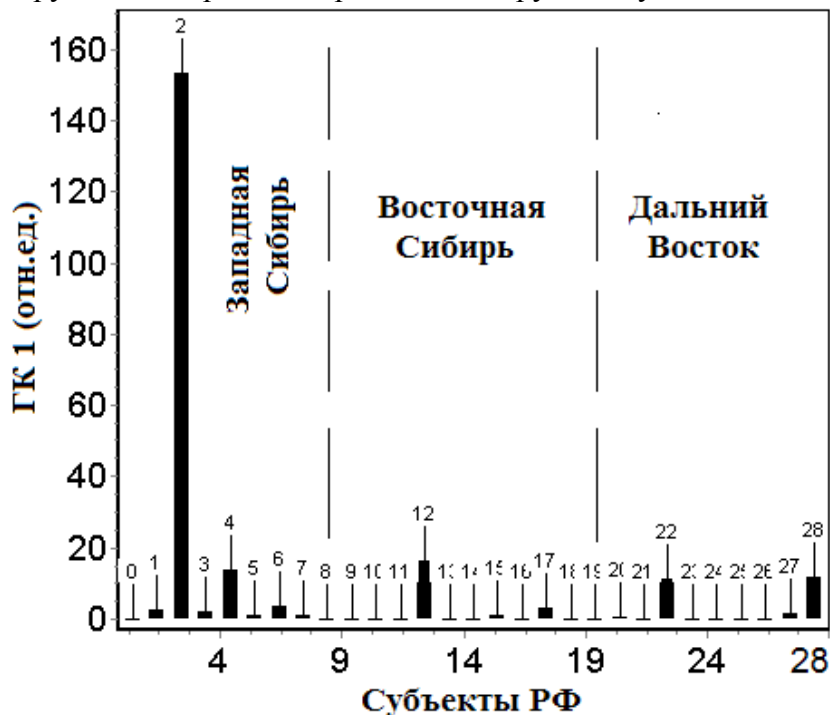
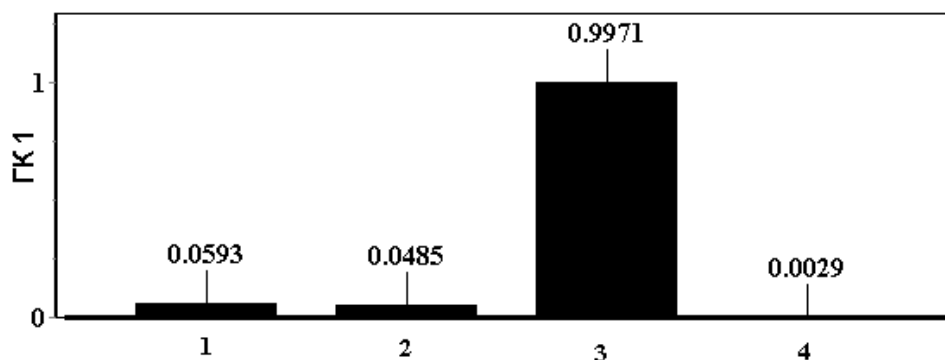


Рис. 1. Результаты анализа в пространстве первой главной компоненты

На территории Восточной Сибири наибольшее значение ГК 1 имеет Красноярский край № 12 (16 отн. ед.). Однако необходимо учесть, что в Красноярском крае промышленная добыча нефти началась в августе 2009 г. с запуском в эксплуатацию уникального по своим запасам нефти Ванкорского месторождения [5], а экологические данные приведены за более ранние годы, что свидетельствует об отсутствии прямой взаимосвязи нефтедобычи с указанным загрязнением окружающей среды.

На территории Дальнего Востока большими значениями ГК 1 обладают Сахалинская область № 29 (12 отн. ед.) и Приморский край № 22 (11 отн. ед.). Известно [5], что Дальний Восток – новый динамично развивающийся нефтегазодобывающий район России, где промышленно добывается около 2,9 % российской нефти на сухопутных месторождениях острова Сахалин и шельфе Охотского моря.

При обработке массива экологических данных МГК с применением средств программного комплекса [1] вычислены (проекции) нагрузки, которые позволили выявить наиболее значимые экологические параметры. Значения нагрузок показаны на рис. 2.



*Рис. 2. Значения нагрузок на 1 ГК. Обозначено: 1 - количество выброшенных загрязняющих веществ в атмосферу; 2 - объем сброшенных загрязняющих сточных вод в поверхностных водных объектах; 3 - количество образованных токсичных отходов; 4 – состояние здоровья населения*

Анализ значений нагрузок (рис. 2) свидетельствует, что наиболее значимым параметром для 29 субъектов РФ является образование токсичных отходов. Действительно, проведенный пространственный анализ средствами ГИС свидетельствует, что на территории Западной Сибири образуется наибольшее количество токсичных отходов в Кемеровской области (1888 – 14601 тыс. т), несколько меньше в Тюменской и Омской областях (602 - 1888 тыс. т). В Омской области ежегодно образуется более 1 млн. т отходов производства, в составе которых нефтешламы и шлаки металлургической промышленности. В Тюменской области по данным [6] образование токсичных отходов составило около 855 тыс. т. Кроме того, в Омской и Тюменской области отмечается загрязнение окружающей природной среды выбросами в атмосферу и стоками в водные объекты от предприятий нефтедобычи, нефтепереработки, нефтехимии, электроэнергетики, жилищно-коммунального хозяйства. В Восточной Сибири наибольшее количество токсичных отходов образуется в Красноярском крае (1263 - 11429 тыс. т). На Дальнем Востоке наибольшее количество токсичных отходов образуется в Приморском крае (1040 - 1799 тыс. т), в Сахалинской области среднее их количество составило от 55 до 1040 тыс. т.

Несмотря на то, что проведенный анализ с применением МГК свидетельствует об относительно невысоком загрязнении окружающей природной среды нефтедобывающих территорий Западной Сибири по сравнению с другими субъектами РФ, значительное ухудшение экологии этих территорий происходит при возникновении чрезвычайных ситуаций. Далее рассмотрим загрязнение нефтепродуктами в результате аварийных нефтеразливов водосбора реки Большой Балык на территории Нефтеюганского района Ханты-Мансийского АО.

### **Анализ состояния окружающей природной среды при возникновении чрезвычайных ситуаций в нефтедобывающих районах**

Как известно, в региональном плане основная добыча нефти в России сосредоточена в ее азиатской части, в частности доля Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна в производстве нефти в 2010 г. составила 63 %. Западно-Сибирский бассейн расположен на территориях Тюменской, Томской, Новосибирской, Омской областей, Таймырского, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов (АО). Нефтедобыча в основном ведется в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком АО, в Тюменской и Томской областях. Ханты-Мансийский АО является основным нефтедобывающим центром страны. В данное время на территории округа открыто более 360 месторождений нефти и газа и объем нефтедобычи в 2011 г. составил 51,3 % общероссийского объема добываемой нефти [2, 3, 6].

Показано [7], что на территории Ханты-Мансийского АО за последние десятилетия более 50 % нефтедобычи приходится на Ватьеганское, Западно-Салымское, Краснотенинское, Лянторское, Малобалыкское, Мамонтовское, Повховское, Приобское, Самотлорское, Тевлинско-Русскинское, Федоровское и др. месторождения. На территории данных месторождений и других нефтепромыслах велик риск загрязнения окружающей среды вследствие аварий в системе нефтесбора. Общая протяженность сетей трубопроводов на территории округа в 2006 г. составила 82938 км, значительная их часть (41 %) имеет срок службы более 30 лет и подвержена коррозии [8], вследствие чего зачастую случаются аварии на водоводах и нефтепроводах, сопровождающиеся загрязнением земель нефтепродуктами, сульфатами и хлоридами, содержащимися в пластовых водах.

Для выявления нефтезагрязненных участков в Нефтеюганском и Нижневартовском районах Ханты-Мансийского АО нами использовались КС Landsat в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра. Дешифрирование нефтеразливов проводится в автоматическом режиме с использованием инструментов ERDAS Imagine. Известно [9], что КС позволяют определять местонахождение и площадь нефтеразливов с 60 % вероятностью по отношению к полевым исследованиям аналогичных территорий. Установлено, что в 2000 г. на территории Нижневартовского района площадь нефтеразливов составила 18 км<sup>2</sup>, на территории Нефтеюганского района - 7 км<sup>2</sup>. По результатам дешифрирования КС Landsat наиболее нефтезагрязненными в Нижневартовском районе являются территории Самотлорского (11 км<sup>2</sup>), Урьевского (1,9 км<sup>2</sup>), Поточного (0,5 км<sup>2</sup>), Вахского (0,5 км<sup>2</sup>), Ватинского (0,5 км<sup>2</sup>), Советского (0,4 км<sup>2</sup>), Лас-Еганского (0,4 км<sup>2</sup>), Покачевского (0,3 км<sup>2</sup>), Ермаковского (0,1 км<sup>2</sup>), Ершового (0,1 км<sup>2</sup>), Нивагальского (0,1 км<sup>2</sup>), месторождений. В Нефтеюганском районе наиболее нефтезагрязнены территории Мамонтовского (4 км<sup>2</sup>), Южно-Балыкского (0,6 км<sup>2</sup>), Усть-Балыкского (0,3 км<sup>2</sup>), Правдинского (0,3 км<sup>2</sup>), Малобалыкского (0,2 км<sup>2</sup>), Ефремовского (0,1 км<sup>2</sup>), Петелинского (0,1 км<sup>2</sup>), Средне-Балыкского (0,1 км<sup>2</sup>) месторождений.

Смыв нефтепродуктов в реки нами определен из площадей водосборных бассейнов рек и оценен на основе данных дистанционного зондирования, в качестве которых в данной работе применялись космические снимки Landsat и ASTER GDEM. Глобальная цифровая модель рельефа (Global Digital Elevation Model - GDEM) создана на основе данных ASTER. Обработка и анализ данных ASTER GDEM проведены с использованием программного приложения Arc Hydro Tools [10] в среде геоинформационной системы ARC GIS, которое является специализированным гидрологическим приложением ARC GIS для моделирования и расчетов основных характеристик потоков воды и водосборов.

С использованием Arc Hydro Tools на основе ASTER GDEM были выделены водосборы притоков реки Большой Балык на территории Нефтеюганского района Ханты-Мансийского АО (рис. 3). Рассмотрены следующие притоки – реки Лагерная, Межевая, Пучипигый, Быстрая, Спокойная, Чистая и их водосборные бассейны (на рис. 3 указаны номера бассейнов 1 по 7). Площади водосборных бассейнов перечисленных малых рек составили: р. Лагерная - 43 км<sup>2</sup> (бассейн 1), р. Межевая - 29,8 км<sup>2</sup> (бассейн 2), р. Пучипигый - 329,8 км<sup>2</sup> (бассейн 3), р. Могучая – 4,3 км<sup>2</sup> (бассейн 4), р. Быстрая – 10,2 км<sup>2</sup> (бассейн 5), р. Спокойная – 12,8 км<sup>2</sup> (бассейн 6) и р. Чистая – 17,5 км<sup>2</sup> (бассейн 7).

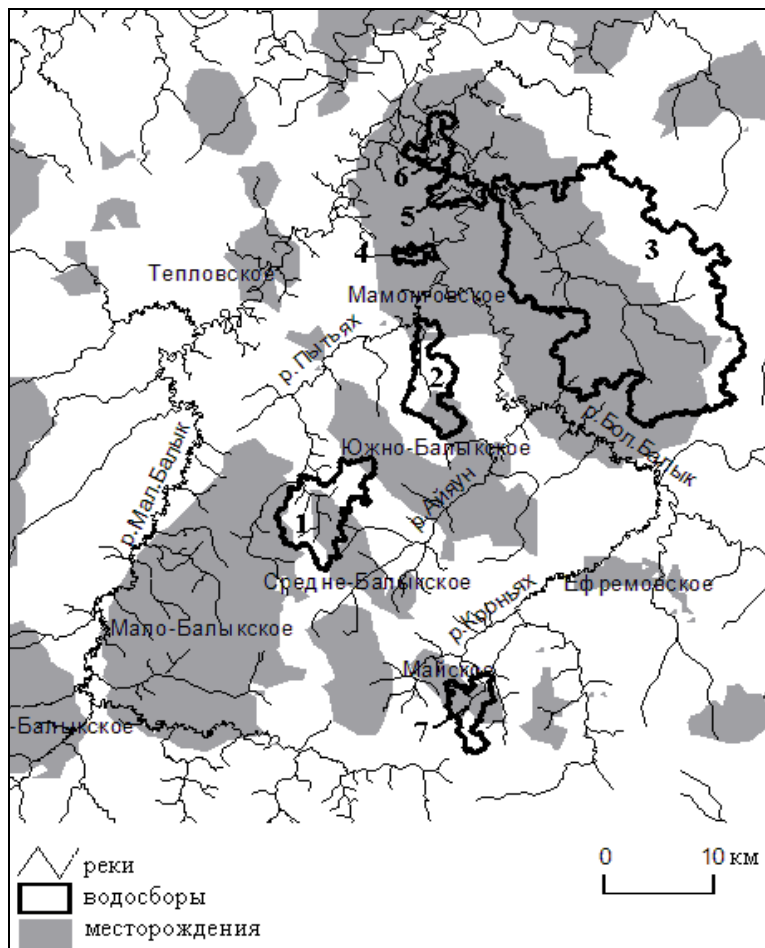


Рис. 3. Картограмма водосборов рек: 1 - Лагерная, 2 - Межевая, 3 – Пучипигый, 4 - Могушая, 5 - Быстрая, 6 - Спокойная, 7 - Чистая

Как видно из рис. 3, на территории бассейна 1 находится Средне-Балыкское месторождение, в бассейне 2 – Южно-Балыкское и Мамонтовское месторождения, в бассейнах 3, 4, 5, 6 – Мамонтовское месторождение, в бассейне 7 – Майское месторождение.

Для количественной оценки смыва нефтепродуктов применялась методика [11], основанная на результатах полевых наблюдений. Модуль смыва нефти с поверхности нефтезагрязненных водосборов рассчитывался по формуле [11]:

$$\mu = 0,42 * M_3 [1 - \exp(-40 \frac{f_3}{F})] + a_\phi * M(1 - \frac{f_3}{F}), \quad (1)$$

где  $\mu$  - модуль смыва нефти (мг/с км<sup>2</sup>),  $M_3$  - модуль стока воды с нефтезагрязненной части водосбора (л/с км<sup>2</sup>),  $f_3$  - площадь нефтезагрязненных участков водосбора (км<sup>2</sup>), выделенных на КС Landsat,  $F$  - площадь водосбора (км<sup>2</sup>), автоматически выделенная на ASTER GDEM,  $a_\phi$  - параметр, равный концентрации нефтяных углеводородов при отсутствии нефтезагрязненных участков ( $a_\phi = 0,1$  мг/дм<sup>3</sup>),  $M$  - обобщенный по территории модуль стока воды (дм<sup>3</sup>/с км<sup>2</sup>), который рассчитан в данной работе по формуле:

$$M = \frac{Q * 1000}{F}, \quad (2)$$

где  $Q$  – усредненный за период весеннего половодья и время летне-осенних дождей расход воды (м<sup>3</sup>/с) [11],  $F$  - площадь водосбора (км<sup>2</sup>), выделенная на КС ASTER GDEM.

Парный коэффициент корреляции между вычисленными в нашей работе на основе дистанционных данных значениями модуля смыва нефти  $\mu$  и усредненными значениями приведенных в литературе данных [11] равен 0,7, что показывает их взаимосвязь и хорошую сходимость результатов.

Расчет модуля смыва нефтепродуктов с нефтезагрязненных водосборов позволяет определить приближенное годовое поступление нефтепродуктов в реки. Вынос нефтепродуктов, в том числе накопленных за зиму в снежном покрове, с нефтезагрязненных участков водосборов происходит преимущественно в периоды весеннего половодья и летне-осенних дождей [11]. Приближенный среднегодовой объем выноса нефтепродуктов с территории нефтезагрязненных водосборов исследуемых малых рек рассчитывался по формуле:

$$V = \frac{\mu * T * F}{10^9}, \quad (3)$$

где  $V$  – среднегодовой объем выноса нефтепродуктов (т),  $T$  - период времени (количество секунд, которое с мая по октябрь примерно составляет 16442400), за который происходит вынос нефтепродуктов, в том числе накопленных в снежном покрове. По нашим расчетам с мая по октябрь 2000 г. вычисленный по формуле (3) объем выноса нефтепродуктов с нефтезагрязненных участков в водосборы рассматриваемых рек составил примерно от 0,2 до 5 т. Таким образом, в 2000 г. с исследуемых водосборов общей площадью 447,5 км<sup>2</sup>, в которой суммарная площадь нефтеразливов занимает менее 1 % этой территории, в реки поступило в сумме около 9,7 т нефтепродуктов.

Бассейн реки Большой Балык, общей площадью 5950 км<sup>2</sup> кроме рассмотренных в данной работе водосборов малых рек включает водосборы других притоков, основными из которых являются Пытьях, Кооньях, Малый Балык. В водосборах этих основных притоков расположены нефтедобывающие объекты Малобалыкского, Южно-Балыкского, Тепловского, Ефремовского и Мамонтовского месторождений (рис. 3). В целом, объем выноса нефтепродуктов рекой Большой Балык при непосредственном сбросе в нее сточных вод и смыве нефтепродуктов с нефтезагрязненных участков водосборных бассейнов всех притоков, рассчитывался по формуле [12]:

$$V_B = W * a_{\phi}, \quad (4)$$

где  $V_B$  – весь объем выносимых нефтепродуктов (т),  $W$  - объем водного стока (км<sup>2</sup>), приведенный в [13],  $a_{\phi}$  - фоновое содержание нефтепродуктов в природных водах (т/км<sup>3</sup>), которое принимается исходя из значений 0,05 или 0,15 мг/дм<sup>3</sup> в зависимости от наличия и интенсивности эксплуатации на территории водосбора нефтедобывающих объектов.

Установлено, что при фоновой концентрации нефтяных углеводородов в воде 0,05 мг/дм<sup>3</sup> за год объем выносимых рекой нефтепродуктов составляет около 60 т, что не противоречит результатам аналогичных расчетов для водосборных бассейнов притоков реки Пур в работе [12].

### Заключение

Таким образом, в работе предложен и апробирован комплексный подход анализа экологического состояния нефтедобывающих территорий. С применением МГК было выявлено в целом невысокое по отношению к другим субъектам РФ загрязнение окружающей природной среды нефтедобывающих территорий Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого АО, Тюменской и Томской областей. Показано, что в нефтедобывающих субъектах РФ наиболее заметный вклад в загрязнение окружающей среды вносит наличие в

них развитой промышленности и жилищно-коммунального хозяйства городов, как показано на примере Тюменской, Омской областях в Западной Сибири, Красноярском крае в Восточной Сибири и в Сахалинской области на Дальнем Востоке. Значительно ухудшают экологическое состояние нефтедобывающих районов чрезвычайные ситуации, такие, как рассмотренные аварийные нефтеразливы в Ханты-Мансийском АО.

Установлено, что при ежегодном нефтезагрязнении земель, составляющих 1 % от общей площади водосборов в малые реки Нефтеюганского района с поверхностным стоком поступает около 10 т нефтепродуктов. При сбросе сточных вод и смыве нефтепродуктов с загрязненных участков средними реками выносятся около 60 т в год, что свидетельствует о значительном ухудшении качества воды в нефтедобывающих регионах. Данные исследования и комплексный анализ состояния окружающей среды могут быть использованы в мониторинговых исследованиях состояния окружающей природной среды нефтедобывающих районов.

### Литература

1. *Перемитина Т.О.* Программный комплекс обработки многомерных данных с применением метода главных компонент и геоинформационных технологий // Журнал радиоэлектроники. [Электронный ресурс]: журнал, 2003. – Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/mar03/6/text.html>, свободный.
2. *Коржубаев А.Г., Эдер Л.В.* Нефтедобывающая промышленность России // Бурение & Нефть. [Электронный ресурс]: журнал, 2011. – Режим доступа: <http://burneft.ru/archive/issues/2011-04/1>, свободный.
3. *Яценко И.Г.* Географическое распределение трудноизвлекаемых нефтей Томской области и их физико-химические свойства // Экспозиция Нефть Газ. 2012. № 3 (21). С. 41-46.
4. *Казначеев В.П., Поляков Я.В., Акулов А.И., Мингазов И.Ф.* Проблемы «Сфинкса XXI века». Выживание населения России. – Новосибирск: Наука, 2000. – 232 с.
5. *Коржубаев А.Г., Соколова И.А., Эдер Л.В.* Перспективы развития нефтяной и газовой промышленности Сибири и Дальнего Востока и прогноз экспорта нефти и газа из России на Тихоокеанский рынок // Бурение & Нефть. [Электронный ресурс]: журнал, 2009. – Режим доступа: <http://burneft.ru/archive/issues/2009-12>, свободный
6. *Адам А.М., Мамин Р.Г.* Природные ресурсы и экологическая безопасность Западной Сибири.- М.: НИИ-Природа, 2001.-172 с.
7. Проект основных положений стратегии социально-экономического развития Ханты-Мансийского автономного округа - Югры до 2020 года и на период 2030 года. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.poykovskiy.ru/mapsite3.html>, свободный.
8. *Канева М.П., Протасов А.А., Коровин В.А., Подлеснова В.И.* Формирование системы мониторинга состояния нефтепромысловых трубопроводов в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре // Вестник недропользователя [Электронный ресурс]: журнал, 2007. – Режим доступа: <http://www.oilnews.ru/18-18/formirovanie-sistemy-monitoringa-sostoyaniya-nefepromyslovyx-truboprovodov-v-xanty-mansijskom-avtonomnom-okruge-yugre/>, свободный.
9. *Алексеева М.Н.* Оценка влияния нефтеразливов на состояние растительного покрова и приземного слоя атмосферы с использованием космических снимков / М.Н. Алексеева, Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко // Оптика атмосферы и океана. 2011. № 7. С.606-610.
10. ArcHydro Tools. USA: ESRI, 2011.184 с.
11. *Калинин В.М.* Диффузное загрязнение нефтепродуктами малых рек Среднего Приобья // Водное хозяйство России. 2001. Т. 3. №4. С. 384-393.



12. *Хорошавин В.Ю.* Прогноз формирования качества речных вод под влиянием рассредоточенных источников нефтепродуктов // Вестник Тюменского государственного университета. 2010. № 7. С. 153-161.
13. *Лезин В.А.* Реки Ямало-Ненецкого автономного округа: Справочное пособие. - Тюмень: Вектор Бук, 2000. 142 с.