

# ОЦЕНКА объемов НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ РЕК в РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ с использованием ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ

Рассмотрена методика оценки объемов нефтезагрязнений рек в районах нефтедобычи Западной Сибири с использованием дистанционных данных и геоинформационных технологий. На основе приведенных в литературе моделей расчета объемов нефтезагрязнений полученные данные апробированы для расчета количества смываемой нефти с нефтезагрязненных участков водосборных бассейнов малых рек и проведен сравнительный анализ с данными полевых исследований.



## Введение

В районах добычи углеводородного сырья реки испытывают антропогенное воздействие, в основном связанное с загрязнением нефтепродуктами, минерализованными водами, фенолами, химическими реагентами. По данным [1] среднее содержание нефтепродуктов при отсутствии следов прямого загрязнения, в воде рек северных районов Тюменской области оценивается на уровне 0,1-0,19 мг/дм<sup>3</sup>. Наличие высоких фоновых концентраций нефтепродуктов в реках связано с транспортом ее паров ветром из районов утечек и последующим вымыванием из атмосферы осадками [1]. При непосредственном сбросе сточных вод и смыве нефтепродуктов с нефтезагрязненных участков в случаях аварий на нефтепромыслах и нефтепроводах качество воды рек водосборных бассейнов заметно ухудшается и концентрации нефтепродуктов в воде составляют более 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, что

**М.Н. Алексеева\***, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук  
**И.Г. Яценко**, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий научно-исследовательским информационным центром, ФГБУН Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук

превышает предельно допустимые концентрации, установленные для питьевой воды и рыбохозяйственных водоемов, в 2 и 4 раза, соответственно.

## Материалы и методы исследования

Целью данной работы явилась количественная оценка объема смыва нефтепродуктов с нефтезагрязненных участков в районах водосборов рек с применением дистанционных данных и сравнение полученных результатов с данными полевых исследований.

В качестве дистанционных данных в работе применялись доступные в сети Интернет космические снимки (КС) Landsat и ASTER GDEM. Глобальная цифровая модель рельефа (Global Digital Elevation Model – GDEM) создана на основе данных ASTER (усовершенствованный спутниковый радиометр теплового излучения и отражения – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, имеет разрешение около 30 м). Обработка и анализ данных ASTER GDEM проводи-

\*Адрес для корреспонденции: amn@ipc.tsc.ru

лись с использованием программного приложения Arc Hydro Tools [2] в среде геоинформационной системы ARC GIS, которое является специализированным гидрологическим приложением ARC GIS для моделирования и расчетов основных характеристик потоков воды и водосборов. На *рис. 1* приведен фрагмент рельефа ASTER GDEM территории Нефтеюганского района Ханты-Мансийского АО с нанесенными автоматически выделенными бассейнами рек и точками аккумуляции загрязнений. Границы выявленных с использованием моделей Arc Hydro Tools водосборных бассейнов рек определены на основе строения рельефа и особенностей стока поверхностных вод в реку. Точки аккумуляции наносов и загрязняющих веществ расположены в зонах перехода реки от одного бассейна к другому в местах впадения притоков.

В данной работе с использованием Arc Hydro Tools на основе ASTER GDEM были выделены водосборы притоков р. Большой Балык на территории Сургутского и Нефтеюганского районов Ханты-Мансийского АО (*рис. 2*). Рассмотрены следующие притоки – реки Лагерная, Межевая, Пучипигый, Быстрая, Спокойная, Чистая и их водосборные бассейны (на *рис. 2* указаны номера бассейнов с 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).

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

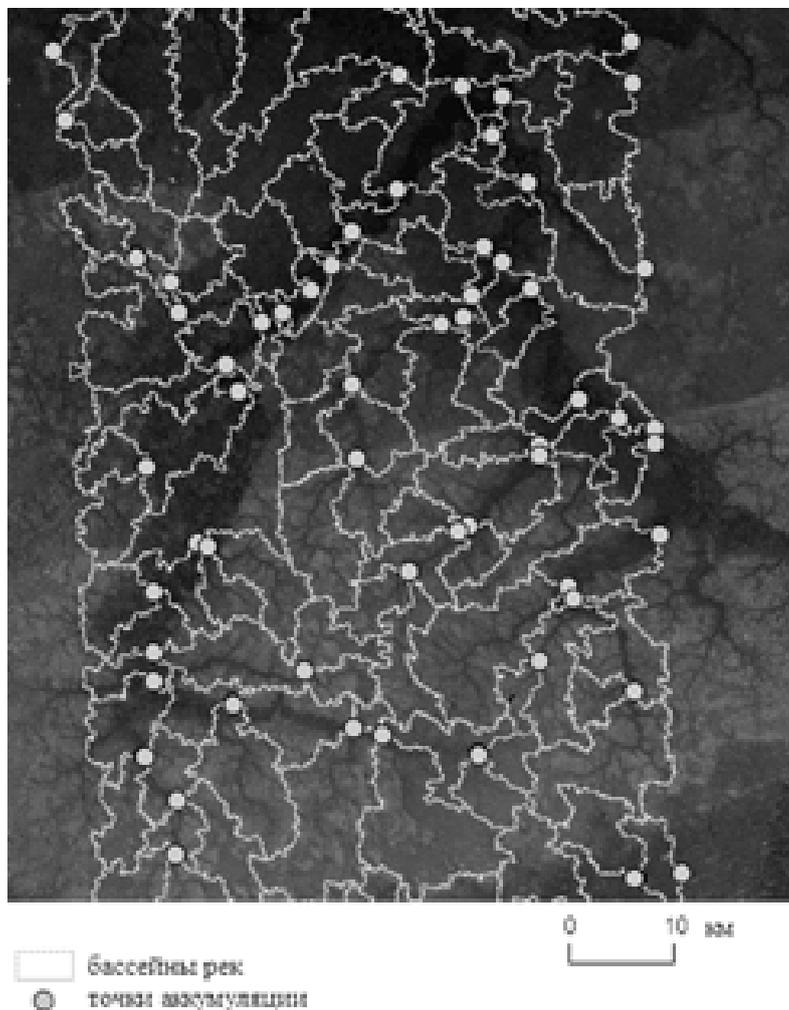
Для выявления нефтезагрязненных участков указанных выше месторождений на территориях водосборов использовались КС Landsat в инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра. Дешифрирование нефтеразливов проводится в автоматическом режиме с использованием инструментов ERDAS Imagine. Установлено [3], что КС позволяют определять местонахождение и площадь нефтеразливов с 60 % вероятностью по отношению к полевым исследованиям аналогичных территорий.

Для количественной оценки смыва нефтепродуктов применялась методика [4, 5],

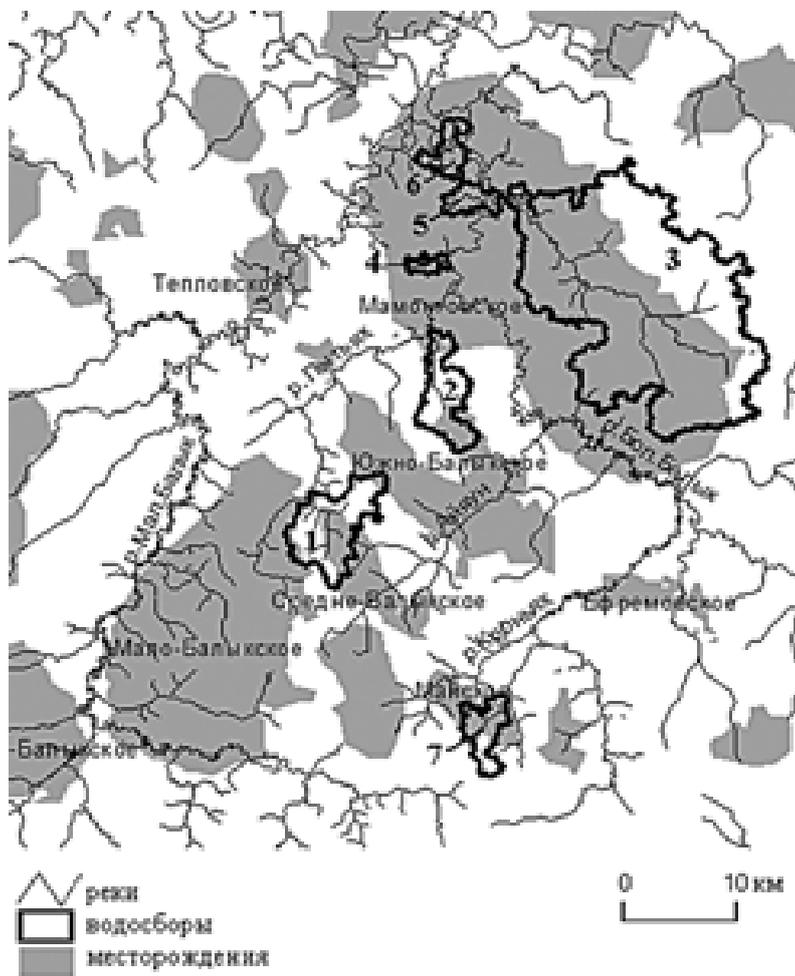
основанная на результатах полевых наблюдений. Модуль смыва нефти с поверхности нефтезагрязненных водосборов рассчитывался по формуле [5]:

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

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



**Рис. 1.** Фрагмент рельефа ASTER GDEM территории Нефтеюганского района Ханты-Мансийского АО с выделенными бассейнами рек и точками аккумуляции наносов и загрязняющих веществ.



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

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) [3],  $F$  – площадь водосбора (км<sup>2</sup>), выделенная на КС ASTER GDEM.

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 (с 15 апреля по 21 октября примерно составляет 190 дней, в которых в свою очередь

**Т.О. Перемитина,**  
кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук

16416000 сек), за который происходит вынос нефтепродуктов, в том числе накопленных в снежном покрове. Данный период времени был выбран в соответствии с [1].

В целом, объем выноса нефтепродуктов р. Большой Балык при непосредственном сбросе в нее сточных вод и смыве нефтепродуктов с нефтезагрязненных участков водосборных бассейнов всех притоков рассчитывался по формуле [6]:

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

где  $V_v$  – весь объем выносимых нефтепродуктов (т),  $W$  – объем водного стока (км<sup>3</sup>),  $a_{\phi}$  – 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.

## Результаты и их обсуждение

В результате дешифрирования КС Landsat 2000 г. было определено, что общая площадь нефтяных разливов составляет 0,4 км<sup>2</sup> на территории водосбора р. Лагерная, 1,6 км<sup>2</sup> на территории водосбора р. Пучипигый, 0,04 км<sup>2</sup> на водосборе р. Чистая и около 0,1 км<sup>2</sup> на территориях водосборных бассейнов рек Межевая, Могучая, Быстрая, Спокойная. Модули смыва нефтепродуктов в 2000 г. были рассчитаны путем подстановки в формулу (1) значений площадей водосборов и нефтезагрязненных участков, определенных на основе дистанционных данных – КС Landsat и ASTER GDEM. Значения модуля смыва нефтепродуктов наземных исследований, приведенные в [4], нами были усреднены за период 1996-1998 гг. для каждого водосбора исследуемых рек. Среднегодовые объемы  $V$  выноса нефтепродуктов с территории нефтезагрязненных водосборов исследуемых малых рек вычислены по формуле (3).

Парный коэффициент корреляции между вычисленными на основе дистанционных данных значениями модуля смыва нефти  $\mu$  и усредненными значениями приведенных в литературе данных [4] равен 0,7, что показывает их взаимосвязь и хорошую сходимость результатов.

Наибольшие значения модуля смыва нефтепродуктов отмечены в бассейнах рек Могучая (4,9 мг/с км<sup>2</sup>), Лагерная (3,9 мг/с км<sup>2</sup>) и Быстрая (3,5 мг/с км<sup>2</sup>).

**Таблица 1**

Средние значения модуля смыва ( $\mu$ ) и объема выноса ( $V$ ) нефти на основе результатов полевых исследований 1996-1998 г. [4] и дистанционных данных 2000 г.

	Бассейн реки	Модуль смыва нефтепродуктов ( $\mu$ ), мг/с км <sup>2</sup>		Приближенный среднегодовой объем выноса нефти ( $V$ ), т	
		1996-1998 гг.	2000 г.	1996-1998 гг.	2000 г.
1	Лагерная	10,2	3,9	5,7	2,8
2	Межевая	6,8	1,1	1,7	0,5
3	Пучипигый	1,7	0,9	2,1	4,9
4	Могучая	7,0	4,9	0,5	0,3
5	Быстрая	8,3	3,5	0,9	0,6
6	Спокойная	5,9	1,8	0,7	0,4
7	Чистая		0,9		0,2

В перечисленных бассейнах ухудшают качество поверхностных вод нефтеразливы при авариях на нефтедобывающих объектах Мамонтовского, Южно-Балыкского и Средне-Балыкского месторождений. Следует отметить, что средние значения модуля  $\mu$  смыва нефти с поверхности нефтезагрязненных водосборов в 1996-1998 гг. больше по сравнению с данными в 2000 г. (табл. 1) из-за большего количества мест с нефтезагрязнением, обнаруженных в результате полевых исследований. Для расчета смыва нефтепродуктов в р. Пучипигый в 2000 г. нами рассматривалась вся площадь водосборного бассейна, а не ее часть в верховьях реки, приведенная в [4], поэтому площадь обнаруженных на КС Landsat нефтезагрязненных участков в 2000 г. составила 1,6 км<sup>2</sup>, а в 1996-1998 гг. средняя их площадь по данным полевых исследований составила всего 0,4 км<sup>2</sup>. Установлено, что в бассейне р. Пучипигый, где расположены нефтедобывающие объекты Мамонтовского месторождения, в 2000 г. значения модуля смыва нефтепродуктов меньше, а значение среднегодового объема выноса нефтепродуктов больше аналогичных значений для 1996-1998 гг. (табл. 1).

Расчет модуля смыва нефтепродуктов с нефтезагрязненных водосборов позволяет определить приближенное суммарное поступление нефтепродуктов в реки. По данным [6] годовой вынос нефти с каждого малого водосбора, в пределах которого есть нефтедобывающие объекты, составляет

**Ключевые слова:** космические снимки, водосборы, цифровые модели рельефа, реки, объем нефтезагрязнений

примерно 2,94-5,62 т/год. Вынос нефтепродуктов, в том числе накопленных за зиму в снежном покрове, с нефтезагрязненных участках на территориях водосборов происходит преимущественно в периоды весеннего половодья и летне-осенних дождей [4]. По нашим расчетам с апреля 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 (табл. 1). 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 р. 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 [7]. В водосборах этих основных притоков расположены нефтедобывающие объекты Мало-Балыкского, Южно-Балыкского, Тепловского, Ефремовского и Мамонтовского месторождений (рис. 2). В целом, объем выноса нефтепродуктов р. Большой Балык вычислен на основе гидрометрических данных из [7] по формуле (4). 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, при концентрации 0,1 мг/дм<sup>3</sup> — примерно 120

т, что не противоречит результатам аналогичных расчетов для водосборных бассейнов притоков р. Пур в работе [6]. Таким образом, по приближенным оценкам вклад в общее нефтезагрязнение р. Большой Балык от нефтезагрязненных участков исследуемых водосборов составляет от 8 до 16 % при фоновых концентрациях нефтяных углеводородов в воде от 0,05 мг/дм<sup>3</sup> до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

## Заключение

**Ц**ифровые модели рельефа ASTER GDEM позволяют автоматически определять границы водосборных бассейнов рек, а КС Landsat — выявлять с достаточной точностью контуры нефтеразливов и их площади на территориях водосборных бассейнов рек. Парный коэффициент корреляции между вычисленными в нашей работе значениями модуля смыва нефти  $\mu$  и приведенными его средними значениями в литературе равен 0,7, что показывает на их взаимосвязь и хорошую сходимость результатов. Установлено, что с нефтезагрязненных водосборов рассматриваемых в работе рек общей площадью 447,5 км<sup>2</sup> в притоки р. Большой Балык поступило за 2000 г. 9,7 т нефтепродуктов, что соответствует примерно 8–16 % общего объема нефтезагрязнений всего бассейна реки. Таким образом, в нашей работе показано, что применение дистанционных данных — КС Landsat, модели рельефа ASTER GDEM и программного приложения Arc Hydro Tools перспективно для количественной оценки объемов смыва нефтепродуктов с нефтезагрязненных участков водосборных бассейнов рек и

определения влияния наземных аварийных разливов нефти на качество их воды.

## Литература

1. Информационный бюллетень «О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа — Югры в 2006–2007 годах». Ханты-Мансийск: Государственный Комитет по охране окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа, 2008. 117 с.
2. ArcHydro Tools. USA: ESRI, 2011.184 с.
3. 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. Ященко // Оптика атмосферы и океана. 2011. № 7. С. 606-610
4. Калинин В.М. Количественная оценка смыва нефтепродуктов с поверхности замасоченных водосборов в речную сеть / В.М. Калинин, А.В. Соромотин // Обзор «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского округа в 1998 году». Ханты-Мансийск, ГУИПП «Полиграфист». 1999. С. 18-20.
5. Калинин В.М. Диффузное загрязнение нефтепродуктами малых рек Среднего Приобья // Водное хозяйство России. 2001. Т. 3. № 4. С. 384-393.
6. Хорошавин В.Ю. Прогноз формирования качества речных вод под влиянием рассредоточенных источников нефтепродуктов // Вестник Тюменского государственного университета. 2010. № 7. С. 153-161.
7. Лезин В.А. Реки Ямало-Ненецкого автономного округа: Справочное пособие. Тюмень: Вектор Бук, 2000. 142 с.

Alekseeva M. N., Yashchenko I.G., Peremitina T.O.

## VOLUME ESTIMATION OF OIL-CONTAMINATED RIVERS IN THE OIL- PRODUCTION AREA USING REMOTE SENSING DATA

A volume estimation method of oil-contaminated rivers in the oil- production West Siberia area using remote sensing data and GIS technologies is considered. Obtained data were tested basing on earlier literature models estimating quantities of oil pollution. Calculating an oil amount washed off by small rivers of basins from contaminated sites and a comparative analysis with a field data were carried out.

**Key words:** space image, basins, digital terrain models, rivers, oil pollution volume