

УДК 543.38:543.51

## Гидрохимические исследования водных объектов на территории нефтедобывающих комплексов

Л.И. Сваровская, Л.К. Алтунина, И.Г. Яценко\*

*Институт химии нефти СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 4*

Поступила в редакцию 13.02.2017 г.

Гидрохимические исследования проведены на территории нефтедобывающих предприятий Томской обл., расположенных в пойме рр. Оби и Васюган. Установлено, что наибольшую долю в общую оценку степени загрязнения рек, протекающих по территории месторождений, вносят нефтепродукты, концентрация которых превышает ПДК в 3–5 раз. Содержание хлоридов, сульфатов, кальция, солей тяжелых металлов и магния превышает предельно допустимые нормы в несколько десятков раз. В составе загрязняющей нефти идентифицированы наиболее опасные для здоровья человека ароматические соединения, среди которых пирены, флуорантены, хризены, бензантрацены, составляющие группу канцерогенов. Основное влияние на качество воды оказывает поверхностный сток с нефтезагрязненной территории водосборного бассейна рек. Объем выноса нефтепродуктов в речную сеть Оби, на территории Советского месторождения, за весенний период 2014 г. составил 3,2 т, годовой сток – 4,9 т. Данные геохимических исследований перспективно использовали для картографирования зон разливов нефти с применением ГИС-технологий и планирования профилактических мероприятий по локализации и восстановлению загрязненных участков в районах нефтегазодобывающих комплексов.

*Ключевые слова:* гидрохимические исследования, водосборный бассейн рек, загрязнение нефтепродуктами, ароматические углеводороды нефти, картографирование, ГИС-технологии; hydrochemical studies, river watershed, oil pollution, oil aromatic hydrocarbons, mapping, GIS technologies.

### Введение

Северные территории Сибири, где сосредоточена основная часть нефтедобывающих предприятий, относятся к экстремальным территориям, где проживание человека связано с определенным риском для здоровья. Техногенные условия нефтепромыслов, низкие температуры, большое количество аварий на нефтепроводах, связанных с разливом нефти и загрязнением водных объектов, почвы и растительного покрова, влияют на адаптационные возможности человека [1]. На объектах нефтедобывающего комплекса Томской обл. в 2015 г. зарегистрировано 144 некатегорийных отказа, излив нефти во внешнюю среду составил 8,189 т, сопутствующей минерализованной пластовой воды – 0,951 т, общая площадь загрязненных земель – 2,2 га [2]. Данные дистанционного зондирования Земли позволяют оперативно определить место и площадь нефтезагрязнения, состояние почвы, растительности и открытых водоемов [3].

Нефтегазодобывающий комплекс представляет собой сложную систему, включающую эксплуатационные скважины, установки комплексной подготовки углеводородного сырья и другие объекты, относящиеся как непосредственно к добыче нефти

и газа, так и к обеспечению жизнедеятельности населения [4]. Техногенное воздействие, связанное в основном с загрязнением нефтью и сопутствующей высокоминерализованной водой, сказывается на качестве воды малых рек [5]. На территории Томской обл. насчитывается 18115 малых рек, которые составляют основу гидрографической сети, их общая протяженность 95 тыс. км.

Бассейн р. Оби объединяет нефтедобывающие территории Тюменской, Томской обл. и Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) в ландшафтно-геохимическую систему. В пределах ХМАО максимальная антропогенная нагрузка загрязняющих веществ (порядка 20 тыс. т), ежегодно поступающих от стационарных источников со сточными водами, приходится на малые реки Нижнеартурского р-на [6]. Гидрохимический анализ показал, что в пробах воды р. Оби на территории ХМАО содержание нефтепродуктов значительно выше, чем в речной воде на территории Томской обл. [7]. Анализ внутригодовой динамики углеводородов в поверхностных водах на территории месторождений позволил сделать вывод о точечных и диффузных источниках нефтяных загрязнений [8].

Химический состав воды складывается под воздействием комплекса факторов – геологических, климатических, биотических и ландшафтных. Формирование поверхностного стока и гидрохимического режима водных объектов Западной Сибири в значительной степени зависит от климатических

\* Лидия Ивановна Сваровская (sli@ipc.tsc.ru); Любовь Константиновна Алтунина (alk@ipc.tsc.ru); Ирина Германовна Яценко (sric@ipc.tsc.ru).

условий. Холодный климат и заболоченность ландшафта определяют низкий самоочистительный потенциал геосистем. Проблема восстановления загрязненной воды и почвы в результате аварийных ситуаций изучена многими исследователями [9–11]. Длительный зимний период приводит к преобладанию в годовом водном балансе доли снегового питания. Средний годовой сток Оби составляет 324 км<sup>3</sup>, а в приустьевую часть за год поступает около 400 км<sup>3</sup>. Большое количество воды «консервируют» торфяники, общая масса воды в торфяных болотах Западной Сибири достигает 1000 км<sup>3</sup>. Самое характерное свойство ландшафтной структуры таежной зоны Западной Сибири – значительная заболоченность [12]. Истоки многочисленных малых рек, как правило, берут начало в заболоченных водоразделах, где формируются пресные воды с высокой окисляемостью [13].

Экологическое состояние водных объектов оказывает влияние на здоровье населения. Проблема загрязнения гидросферы на территории нефтедобычи в первую очередь связана с нефтепродуктами. Особо опасны для здоровья человека полиароматические углеводороды, имеющие канцерогенные и токсичные свойства [14]. К канцерогенной группе углеводородов относятся пирены, флуорантены, антрацены, хризены. Самым сильным канцерогеном является 3,4-дибензпирен, который не имеет порогового уровня, т.е. его присутствие в любом количестве опасно для живого организма [15].

Цель работы – комплексное гидрохимическое исследование водных объектов на территории нефтедобывающих предприятий Томской обл. Западно-Сибирского региона с применением наземных и дистанционных методов.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводили на территории Александровского и Каргасокского р-нов, где расположены основные месторождения нефти Томской обл. Пробы воды и почвы для микробиологических и физико-химических исследований отбирали из многочисленных, часто безымянных малых рек, впадающих в рр. Обь и Васюган. Для микробиологических исследований применяли классический метод посева на агаровые среды. Общую минерализацию воды определяли по ГОСТу 2874-73 «Вода питьевая». Анализ воды на содержание катионов и анионов проводили методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-103Р» (Россия).

Приближенный среднегодовой объем выноса нефтепродуктов с территории нефтезагрязненных водосборов рассчитывали по методике [7]. Площадь нефтезагрязненных участков, границы и площадь водосборных бассейнов рек определяли с помощью космических снимков Landsat и программы ASTER GDEM [16].

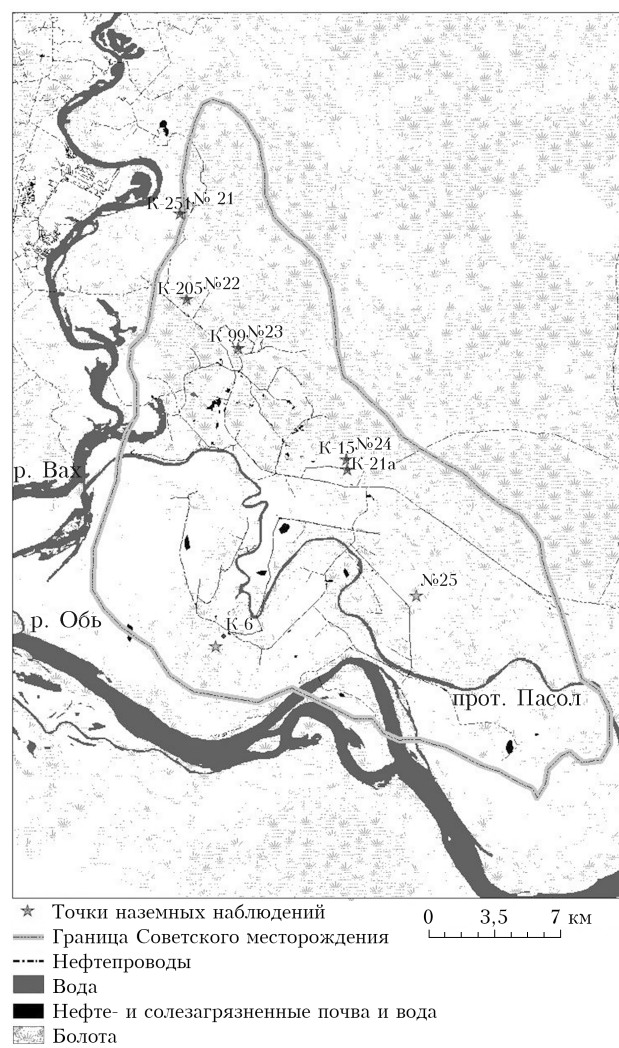
Хроматографический анализ нефтей, экстрагированных из воды, проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии с использованием хромато-масс-спектрометра DFS фирмы Thermo Scientific

(USA). Режим работы хроматографа: кварцевая капиллярная хроматографическая колонка фирмы Thermo Scientific (внутренний диаметр 0,25 мм; длина 30 м; толщина фазы 0,25 мкм; неподвижная фаза – TR-5MS), газ-носитель – гелий.

### Результаты и их обсуждение

Гидрохимические исследования проводили на территории нефтедобывающих предприятий Томской обл., расположенных в пойме рр. Обь и Васюган. Плоский рельеф и слабая дренированность большей части площади водосборного бассейна средней Оби с избыточным увлажнением (565 мм/год), низкой среднегодовой температурой воздуха (–0,6...0,3 °С) и другими факторами обуславливают широкое распространение болот и заболоченной почвы. Северная территория области на 70% покрыта обводненными болотами, значительную площадь занимают торфяники.

На рисунке показана карта-схема территории Советского месторождения, расположенного в пойме рр. Обь и Вах.



Карта-схема Советского месторождения

Таблица 1

Средние гидрохимические показатели состава  
поверхностных вод

Река	pH	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	Класс качества воды
Обь	6,75	0,03	4,7	0,22	4 «А»
Вах	5,5	3,0	24,4	0,52	3 «Б»
Тым	6,95	2,7	15,6	0,39	4 «А»
Икса	7,0	4,1	12,7	0,43	4 «Б»
Васюган	6,8	2,1	6,1	0,32	4 «А»

Через всю территорию месторождения, большую часть которой занимают болота, протекает приток р. Оби — прот. Пасол, в которую впадают более 30 малых рек. На карте-схеме также отмечена разветвленная сеть промыслового нефтепровода, проложенного по заболоченной почве, что создает высокий риск загрязнения среды в случае аварийных ситуаций.

На исследуемом месторождении отобраны пробы нефтезагрязненной почвы, концентрация загрязнения составила 29–45 г/кг. Важную роль в формировании эколого-геохимического состояния компонентов гидро- и биосферы играют микроорганизмы. В водах средней Оби определена численность микроорганизмов, принадлежащих к различным физиологическим группам. Суммарная численность сапрофитных и олиготрофных групп бактерий, принимающих участие в процессах утилизации отмершего органического материала, составляет более 50 тыс. клеток/см<sup>3</sup>, численность хемоорганотрофов, утилизирующих углеводороды, не превышает 6 тыс. клеток/см<sup>3</sup>, группы аммонификаторов и денитрификаторов, разлагающих сложные азотсодержащие органические соединения с выделением аммиака, сероводорода и СО<sub>2</sub>, насчитывают 7,6 и 3,1 тыс. клеток/см<sup>3</sup> соответственно. Согласно ГОСТу 17.1.3.07-82 воды средней Оби по микробиологическому показателю можно классифицировать как загрязненные. Но поскольку число и состав микрофлоры в воде р. Оби зависят от сезона, температуры, концентрации органики и других факторов, то класс качества воды изменяется от чистой до загрязненной в пределах одного года.

В пробах воды малых рек на территории Александровского и Каргасокского р-нов определено повышенное содержание нефтепродуктов, кальция, гидрокарбонатов, хлоридов, железа, магния. Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности поверхностных вод вносят нефтепродукты, излив которых происходит во время аварийных ситуаций. Причинами отказа технологического оборудования и порывов нефтепровода являются в основном коррозия труб и устаревшее оборудование. Химический состав природных вод — индикатор состояния гидросистем прилегающего водосборного бассейна. По показателям концентраций железа, хлоридов и нефтепродуктов, которые определяют класс загрязненности воды, можно судить о влиянии техногенеза на состав поверхностных вод малых рек (табл. 1).

Определяющее влияние на качество воды оказывает поверхностный сток с территории водосбора. В табл. 1 приведены данные гидрохимических исследований на территории водосбора Средней Оби (рр. Обь и Вах) и территории водосбора р. Васюган (рр. Тым, Икса, Васюган). Поскольку исследуемые реки имеют рыбохозяйственное значение, ПДК нефтепродуктов составляет 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, следовательно, степень загрязненности воды малых рек в 6–10 раз превышает ПДК. Класс качества воды определяется как 4 «А» — грязная и 3 «Б» — очень загрязненная (табл. 1).

На территории водосборного бассейна р. Васюган с его многочисленными притоками расположены основные нефтяные и газоконденсатные месторождения области. Здесь добывается 60% всей томской нефти и 100% газа. В табл. 2 приведены состав и концентрация ионов болотной воды и воды малых рек на территории водосборного бассейна р. Васюган. Рассматривая влияние ландшафтных факторов на гидрохимические показатели, можно отметить, что болотная вода и реки, сформированные на заболоченных водоразделах, содержат значительное количество гидрокарбонатов и катионов Са<sup>++</sup>. Соотношение их содержания для болотной воды 5 : 1, для малых рр. Ай-кагал, Гавриловки и Икса 3 : 1 (табл. 2).

Повышенная концентрация гидрокарбонатов и кальция является характерным свойством ионного состава вод малых рек, берущих начало в зоне таежных болот. Воды малых рр. Ай-Кагал, Гавриловки, Икса характеризуются также повышенным содержанием магния. Если учесть, что среднее содержание Mg в равнинных реках Западной Европы составляет 0,008 мг/дм<sup>3</sup>, то в зоне водосбора р. Васюган содержание Mg в 15–20 раз выше. Повышенное содержание Mg (0,15 мг/дм<sup>3</sup>) определено также в воде р. Пасол, протекающей по низкой

Таблица 2

## Анализ болотной и речной воды на территории водосбора р. Васюган

Проба	Концентрация ионов, мг/дм <sup>3</sup>									
	Ва <sup>++</sup>	Са <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Fe	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>
р. Ай-Кагал	—	7,1	1,87	2,3	0,12	21,0	0,12	1,6	3,7	0,16
Вода из низинного болота	—	11,6	1,26	0,41	0,31	55,8	0,27	0,97	2,32	0,25
р. Гавриловка	3,2	8,2	1,5	0,53	0,8	25,3	0,05	0,8	1,9	0,17
р. Икса	—	5,7	3,1	0,2	2,1	14,6	0,12	0,7	2,3	0,18

пойменной территории водосбора р. Оби (Александровский р-н). В водах Оби содержание Mg разбавляется и не превышает 0,012 мг/дм<sup>3</sup>. Воды рек и болот исследуемых территорий Томской обл. относятся к пресным с общей минерализацией в летний период – 0,23 г/дм<sup>3</sup>, а зимний – 0,38 г/см<sup>3</sup>. Причинами малой минерализации являются значительная заболоченность и промерзание поверхностного слоя грунтов.

Суммируя основные геохимические показатели речной воды заболоченной зоны на территории нефтегазодобывающих предприятий, можно отметить низкую минерализацию и повышенное содержание нефтепродуктов, ионов Mg<sup>++</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup> и сульфатов.

Методом хромато-масс-спектрометрии проведен анализ нефтепродуктов, экстрагированных из загрязненной воды малых рек (табл. 3).

Таблица 3

**Концентрации органических соединений в пробах воды исследуемых рек**

Органические соединения	Концентрация органических соединений, мкг/г	
	р. Ай-Кагал	р. Обь
<i>n</i> -Алканы	32,6	2,61
Полиароматические углеводороды	0,35	0,05
Сесквитерпеноиды	0,35	0,01
Дитерпеноиды	4,83	0,35
Тритерпеноиды	2,30	0,13
Стероиды	4,91	0,16
Кислородсодержащие органические соединения	28,12	0,34

В составе полиароматических углеводородов идентифицированы наиболее опасные для здоровья человека соединения, среди которых пирены, флуорантены, хризены, бензантрацены, составляющие группу канцерогенов и мутагенов. Кислые почвы таежных ландшафтов Среднего Приобья характеризуются длительной консервацией загрязняющих веществ. Поступление загрязняющих веществ в реки происходит с поверхностно-склоновыми и почвенно-поверхностными водами во время таяния снега и проливных дождей. Объем выноса нефтепродуктов в речную сеть Оби за весенний период 2014 г. составил 3,2 т, годовой сток – 4,9 т.

Для предотвращения загрязнения малых рек прежде всего необходимо проводить профилактические мероприятия по восстановлению загрязненных участков. Перспективным решением этой проблемы является создание экологически безопасной биотехнологии восстановления загрязненных почв на территории водосборных бассейнов. Биологический метод восстановления загрязненных почв разрабатывается в реальных условиях с учетом температурных и климатических факторов, концентрации и состава загрязняющей нефти, численности и разнообразия микрофлоры. Оптимальная температура

биохимической активности почвенной микрофлоры – 25 °С, при более низкой температуре скорость деструкции уменьшается и для восстановления почвы необходимо более длительное время. Биотехнологический метод восстановления загрязненных почв, разработанный на основе аборигенной микрофлоры, является экологически безопасным и экономически эффективным, но специфичным для различных ландшафтно-геохимических условий.

Разливы нефти и техногенное загрязнение гидросферы создают высокий риск для здоровья населения, проживающего в условиях интенсивной нефтедобычи. Особый фактор риска – канцерогенная группа углеводородов нефти в речной воде, поскольку жители небольших поселений по берегам малых рек используют речную воду в качестве питьевой. Индикаторными показателями интенсивности техногенеза являются ионный состав поверхностных вод и концентрация нефтепродуктов.

**Заключение**

Геохимические исследования показали, что содержание нефтепродуктов, кальция, гидрокарбонатов, хлоридов и железа в воде малых рек превышает ПДК. Воды малых рр. Ай-Кагал, Гавриловки, Икса характеризуются повышенным содержанием магния, концентрация которого в 18–20 раз выше, чем в реках Западной Европы. Хромато-масс-спектрометрический анализ нефтепродуктов, экстрагированных из загрязненной воды малых рек, выявил повышенное содержание всех органических компонентов в сравнении с их концентрацией в воде р. Оби, в том числе ароматических углеводородов, в составе которых присутствует группа канцерогенов: пирены, хризены и антрацены. Показано, что ГИС-технологии перспективно использовать для определения мест риска загрязнения, картографирования зон разливов нефти на территории водосбора рек в районах нефтегазодобывающих комплексов и планирования профилактических мероприятий по локализации и восстановлению загрязненных участков на площади водосборных бассейнов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта НИР V.46.5.5 в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований на 2013–2020 гг.

1. *Хорошавин В.Ю.* Прогноз формирования качества речных вод под влиянием рассредоточенных источников нефтепродуктов // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. 2010. № 7. С. 153–161.
2. *Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2015 году»* / глав. ред. С.Я. Трапезников, ред. кол.: Ю.В. Лунева, Н.А. Чатурова // Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». Томск: Дельтаплан, 2016. 156 с.
3. *Сваровская Л.И., Яценко И.Г., Алтунина Л.К.* Электромагнитный спектр светового потока для оценки антропогенного загрязнения растительности на территории нефтедобывающих комплексов // Оптика атмосф. и океана. 2013. Т. 26, № 4. С. 332–335.

4. Алтунина Л.К., Сваровская Л.И., Полищук Ю.М., Токарева О.С. Реабилитация нарушенной природной среды нефтедобывающих территорий // Нефтехимия. 2011. Т. 51, № 5. С. 387–391.
5. Белицкая Е.А., Гузняева М.Ю., Кадычагов П.Б., Русских И.В., Туров Ю.П. Органические примеси в водах средней Оби // Экология пойм сибирских рек и Арктики. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. С. 122–130.
6. Яценко И.Г., Перемитина Т.О., Лучкова С.В. Комплексная оценка экологических рисков аварийных разливов нефти // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 4. С. 5–9.
7. Симонова Н.Л. Комплексный анализ формирования и прогноз загрязнения речных вод в бассейне Средней и Нижней Оби: Дис. ... канд. геогр. наук: Екатеринбург: РГБ, 2006. 174 с.
8. Калинин В.М. Диффузное загрязнение нефтепродуктами малых рек Среднего Приобья // Водное хозяйство России. 2001. Т. 3, № 4. С. 384–393.
9. Greenword P.F., Wibrow S., George S.J., Tibbett M. Hydrocarbon biodegradation and soil microbial community response to repeated oil exposure // Org. Geochem. 2009. N 40. P. 293–300.
10. Radwan S.S. Enhanced remediation of hydrocarbon contaminated desert soil fertilized with organic carbons // Int. Biodeterior. Biodegrad. 2000. V. 46, N 2. P. 129–132.
11. Ayotamuno M.J., Kogbara R.B., Ogaji S.O.T., Probert S.D. Bioremediation of a crude-oil polluted agricultural-soil at Port Harcourt, Nigeria // Appl. Energy. 2006. V. 83, N 11. P. 1249–1257.
12. Москвиченко Д.В. Экология нефтегазодобывающих районов Западной Сибири. Новосибирск: Гео, 2013. 103 с.
13. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, охрана и использование. Томск: Изд-во ТПУ, 2003. 170 с.
14. Gennadiev A.N., Tsibart A.S. Pyrogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of reserved and anthropogenically modified areas: Factors and features of accumulation // Eurasian Soil Sci. 2013. V. 46, N 1. P. 28–36.
15. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах / под ред. А.Н. Геннадиева и Ю.И. Пиковского. М.: Изд-во МГУ, 1996. 192 с.
16. ArcHydro Tools. USA: ESRI, 2011. 184 с.

*L.I. Svarovskaya, L.K. Altunina, I.G. Yashchenko.* **Hydrochemical studies of water bodies in the area of oil-producing complexes.**

Hydrochemical studies were carried out on the territory of oil-production enterprises of the Tomsk region located in the floodplain of the Ob and Vasyugan rivers. It was found out that oil products whose concentration exceeds the MPC value by 3–5 times are rated as the largest contributors to the pollution of rivers flowing through the territories of oil fields. The contents of chlorides, sulfates, calcium, salts of heavy metals, and magnesium exceeds the maximum permissible levels by several tens of times. The most dangerous for human health aromatic compounds were identified among oil pollutants, including pyrenes, fluoranthenes, chrysenes, benzenanthracenes, which constitute a group of carcinogens. The main impact on water quality is exerted by surface runoff from the oil-polluted territory of the river watershed. For the spring period of 2014 the volume of oil products removed to the network of the Ob river was 3.2 tons on the territory of the Sovetskoye oil field, while the annual runoff was 4.9 tons. Geochemical data could be successfully used for mapping oil spill using GIS technologies and planning preventive measures for localization and restoration of contaminated sites in areas of oil and gas producing complexes.