

УДК 502.51:502.175

## СКРИНИНГОВЫЙ КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ ГИДРОСФЕРЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫХ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ

**Адам Александр Мартынович<sup>1</sup>,**  
adam@green.tsu.ru

**Бегун Михаил Валентинович<sup>2</sup>,**  
svr@tpu.ru

**Дмитриев Александр Владимирович<sup>3</sup>,**  
dmitriev777@mail.ru

**Купрессова Екатерина Алексеевна<sup>4</sup>,**  
kipariz@bk.ru

**Ледовская Анна Михайловна<sup>4</sup>,**  
sokolovaam@tpu.ru

**Романенко Сергей Владимирович<sup>4</sup>,**  
svr@tpu.ru

**Савичев Олег Геннадьевич<sup>4</sup>,**  
osavichev@mail.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

<sup>2</sup> Главное управление МЧС России по Томской области, Россия, 634057, г. Томск, пр. Мира, 26.

<sup>3</sup> АНО «Томский демонстрационно-консультационно-образовательный центр ресурсосбережения и энергоэффективности», Россия, 634034, ул. Белинского, 51.

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью совершенствования методологического и инструментального обеспечения, отвечающего современным условиям и региональным особенностям, что является одной из фундаментальных задач, стоящих перед системами мониторинга и контроля состояния объектов окружающей среды. Скрининговый подход к решению данной задачи станет более совершенным аналитическим инструментом для контроля состояния водных объектов, особенно расположенных на удаленных и труднодоступных территориях с высокой антропогенной нагрузкой – районов нефтедобычи, позволяя оперативно выявлять возникновение нештатных и аварийных ситуаций, приводящих к негативному воздействию на окружающую среду, и принимать более эффективные меры по их устранению.

**Цель работы:** обоснование методологии скринингового контроля состояния водных ресурсов удаленных районов нефтедобычи для выявления аварийных нефтяных разливов на примере Томской области.

**Методы исследования.** Предлагается использовать скрининговый подход к получению информации о качестве природных вод, а также своевременному обнаружению возникших аварийных ситуаций на объектах добычи и транспортировки нефти, приводящих к сбросам нефтепродуктов в водные объекты, совместно с использованием автоматизированных дистанционных методов и геоинформационных технологий. Для этого сделан анализ эколого-геохимического состояния водных объектов на территориях размещения нефтегазодобывающих предприятий.

**Результаты и выводы.** Проведена оценка характерного содержания веществ в поверхностных водах бассейна р. Оби. Превышение установленных нормативов качества вод в большинстве случаев обусловлено региональными особенностями формирования их состава. Основное отличие состава сточных вод нефтегазового комплекса Сибири от поверхностных вод региона выражено в сравнительно большем содержании ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , суммы главных ионов. Содержание нефтепродуктов в выпускаемых сточных водах, вод шламовых амбаров существенно отличается от их концентраций в болотных и связанных с ними речных и подземных водах, что подтверждает необходимость совершенствования контроля за стоками и внедрения систем предупреждения аварийных ситуаций. В качестве скрининговых критериев в рамках методологии выявления аварийных ситуаций в районах добычи и транспортировки нефти необходимо использовать прямые (содержание нефтепродуктов по отклику флюоресценции) и косвенные показатели (концентрация хлорид-иона, удельная электропроводность) одновременно. Это обусловлено особенностями их идентификации в природных водных средах. Установлено, что выявление антропогенного загрязнения нефтепродуктами наиболее достоверно будет при концентрациях от  $1 \text{ мг/дм}^3$  на удалении от потенциальных источников не более 500 м.

**Ключевые слова:**

Нефтепродукты, скрининг качества водных объектов, автоматизированный контроль водных объектов, мониторинг содержания нефтепродуктов в природных водах, экологический мониторинг в нефтегазовом комплексе.

## Введение

Загрязнение окружающей среды является актуальной проблемой, своевременное и эффективное решение которой в том числе сопряжено с вопросами оперативного и достоверного выявления отказов технических систем (нарушений работоспособного состояния объекта по [1, 2]) и, как следствие, сосредоточенных и диффузных, постоянных и временных источников загрязнения [3, 4].

Весьма актуальна эта проблема при организации природоохранных мероприятий на объектах добычи и транспортировки нефти, очень часто расположенных в труднодоступной местности на значительном удалении от населённых пунктов [5]. Кроме того, нефтедобывающие и особенно нефте-транспортные системы могут быть расположены на сейсмически опасных территориях, участках, подверженных затоплению, подтоплению, эрозийным процессам, как за пределами населённых пунктов, так и в их пределах [6].

В настоящее время получение информации о состоянии объектов гидросферы в районах добычи и транспорта углеводородного сырья осуществляется с помощью методов классического пробоотбора и проведения аналитических исследований полевыми методами, либо в лаборатории. Применение дистанционно-картографических методов (получение аэрокосмических снимков) для получения сведений о возникновении нефтезагрязнений все еще дает недостаточно точные результаты и является весьма длительным процессом, так как требует значительных временных затрат на расшифровку снимков. И тот, и другой метод являются затратными и не позволяют оперативно реагировать на загрязнение водных объектов нефтепродуктами при аварийных ситуациях в связи с необходимостью значительных временных затрат для получения достоверного результата. С учётом этого целесообразна разработка как методологии, так и технических средств экологического мониторинга в области добычи и транспорта углеводородного сырья, позволяющего фиксировать отклонения от фоновых (нормативных) значений концентрации нефтепродуктов в водных объектах в режиме реального времени, что и определило соответствующую цель данной работы.

В работе предлагается использовать скрининговый подход для получения информации о состоянии объектов гидросферы. Такой подход будет направлен в первую очередь на выявление превышения нормативного (или фонового) значения определяемого скринингового параметра водного объекта, сведения о котором возможно получать дистанционно в режиме реального времени. Его реализация требует разработки концептуально-методологических основ скринингового контроля объектов гидросферы, базисом которых станет определение перечня значимых скрининговых параметров качества вод и значений их оптимального уровня, достаточного для объективной оценки

состояния водного объекта гидросферы в условиях антропогенной нагрузки. При этом точность и надёжность определения концентраций соответствующих загрязнителей может быть значительно ниже, чем при определении стандартными лабораторными методами. Главными условиями успешного применения скринингового подхода являются надежное проявление отклика скринингового параметра при значительном увеличении концентрации контролируемого загрязнителя, возможность проведения его прямого измерения без необходимости проведения пробоотбора и пробоподготовки, позволяющего осуществить его автоматизацию.

Для достижения цели необходимо решить первоочередную задачу по поиску и исследованию базовых скрининговых критериев качества вод, а также определить ключевые контрольные участки акваторий, находящиеся в зоне риска возникновения загрязнений нефтепродуктами.

## Методика исследования

Методика исследования предполагала анализ эколого-геохимического состояния водных объектов на территориях размещения нефтедобывающих предприятий и нефте-транспортных систем с целью выделения базовых критериев скринингового подхода, которые могут быть использованы для выявления случаев загрязнения водных объектов, и математическое моделирование распространения загрязняющих веществ в речных и болотных водах. Методика анализа эколого-геохимического состояния водных объектов приведена в [7], а методика моделирования – в [8–11].

Объектом исследования послужили водные объекты в бассейне р. Оби, где добывается основная часть углеводородов в Российской Федерации [12–14]. В качестве исходной информации для анализа использованы опубликованные материалы Министерства природных ресурсов Российской Федерации и Росгидромета [15–18], АО «Томскгеомониторинг» [19–22], Томского политехнического университета [23–25], данные государственного экологического мониторинга по субъектам Российской Федерации [12, 26–32], опубликованные материалы других авторов [33–35].

## Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав и качество поверхностных вод

Первый шаг к разработке методологии скринингового контроля и выявления загрязнения водных объектов заключается в оценке характерных содержаний веществ в поверхностных водах. Для этого был выполнен анализ данных Росгидромета, ТПУ, ТГУ, АО «Томскгеомониторинг» и ряда других организаций, который показал, что по классификации О.А. Алёкина речные воды в бассейне р. Оби в пределах тундры, лесотундры, тайги и лесостепи в целом пресные с минерализацией от очень

малой в тундре до средней в лесостепи, гидрокарбонатные кальциевые; в зоне степи – пресные с повышенной минерализацией или солоноватые, хлоридные натриевые. Общий тренд территориального изменения – увеличение концентрации главных ионов в водах равнинных рек в направлении от тундры до степи (табл. 1). В речных водах горных и предгорных районов концентрация главных ионов в целом ниже, чем в тайге и лесотундре, и выше, чем в тундре. Это связано, с одной стороны, с обратной зависимостью между интенсивностью водообмена и содержанием вещества в речных водах, а с другой – с более высоким водообменом в горных и предгорных районах [24, 36].

**Таблица 1.** Средние значения pH, суммы главных ионов  $\Sigma_{\text{ни}}$ , концентраций  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , значений БПК<sub>5</sub> и ХПК в речных водах Сибири [24]

**Table 1.** Average values of pH, amount of main ions  $\Sigma_{\text{ни}}$ , concentrations of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , BOD<sub>5</sub> and COD values in Siberia river waters

Природная зона Terrestrial ecosystem	Статистика Statistics	pH, eq. pH pH units	$\Sigma_{\text{ни}}$ , мг/дм <sup>3</sup> mg/dm <sup>3</sup>	$\text{Na}^+$ , мг/дм <sup>3</sup> mg/dm <sup>3</sup>	$\text{Cl}^-$ , мг/дм <sup>3</sup> mg/dm <sup>3</sup>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> BOD <sub>5</sub> , mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> COD, mgO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>
Тундра Tundra	A	<b>5,81</b>	44,0	3,7	6,0	1,47	<b>60,01</b>
	N	47	27	27	27	22	22
	G	<b>5,78</b>	24,9	2,3	2,2	0,73	<b>50,85</b>
Лесотундра Forest tundra	A	7,58	172,2	13,3	5,3	1,55	<b>17,68</b>
	N	16	22	22	22	11	17
	G	7,57	122,5	5,0	3,0	1,41	<b>16,55</b>
Тайга Taiga	A	7,40	268,4	10,9	9,3	<b>3,37</b>	<b>44,14</b>
	N	1379	1370	1370	1370	1508	1911
	G	7,36	187,3	5,7	3,7	<b>2,33</b>	<b>28,25</b>
Лесостепь Forest steppe	A	7,66	494,2	43,4	32,8	<b>3,15</b>	<b>23,37</b>
	N	163	212	212	212	443	494
	G	7,65	429,5	27,9	11,9	<b>2,23</b>	<b>17,25</b>
Степь Steppe	A	7,48	823,2	132,0	196,1	–	<b>27,38</b>
	N	34	63	63	63	–	16
	G	7,46	697,2	96,5	145,3	–	<b>25,41</b>
Горные районы Mountain areas	A	7,45	124,9	5,0	3,2	<b>2,57</b>	9,83
	N	1020	690	690	690	1599	1886
	G	7,43	97,8	3,0	1,5	<b>2,17</b>	7,87

Примечание: А – среднее арифметическое значение; N – количество проб; G – среднее геометрическое значение;  $\Sigma_{\text{ни}}$  – сумма главных ионов с учётом  $\text{CO}_3^{2-}$ ; БПК<sub>5</sub> – биохимическое потребление кислорода за 5 сут; ХПК – химическое потребление кислорода (по бихроматной окисляемости); полужирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; прочерк – N<10.

Note: A is the arithmetic mean value; N is the number of samples; G is the geometric mean value;  $\Sigma_{\text{ни}}$  is the amount of the main ions in view  $\text{CO}_3^{2-}$ ; BOD<sub>5</sub> is the biochemical oxygen demand in 5 days; COD is the chemical oxygen demand (by dichromate oxidation); the values above TLV are in bold; dash is N<10.

Для зон тундры, лесотундры и тайги характерно широкое распространение болот, воды которых содержат большое количество различных органических веществ (табл. 2), включая углеводороды природного происхождения, продуктов трансфор-

мации органических веществ, соединений металлов с органическими кислотами. Особенностью болотных вод также являются и низкие значения pH [24, 25, 37]. При водообмене болот с реками, озёрами и подземными водами происходит обмен с указанными веществами [38], в результате чего уровень их содержания в водных объектах зон тайги, лесотундры и тундры в целом выше, чем в лесостепи и степи. Но при этом следует отметить, что даже в степи пойма многих рек в той или иной степени занята болотами (обычно низинными), являющимися источником поступления в речные воды фенолов, углеводов, гуминовых и фульвокислот, соединений железа и др.

Таким образом, превышение установленных нормативов качества в поверхностных водах в бассейне р. Оби (как и в бассейнах других рек Евразии) может быть связано с региональными особенностями формирования их химического состава в условиях высокой заболоченности значительной части водосборных территорий. С учётом этого, выделение природной и антропогенной составляющей в значении большинства гидрохимических показателей представляет собой весьма сложную задачу.

**Таблица 2.** Средний химический состав отходов вод шламовых амбаров, сточных и болотных вод [39], мг/дм<sup>3</sup>

**Table 2.** Average chemical composition of sludge pits waste water, sewage and bog waters [39], mg/dm<sup>3</sup>

Показатель Indicator	Шламовые амбары Sludge barns	Хозяйственно-бытовые стоки Domestic sewage	Верховые болота Raised bogs	Мезотрофные болота Mesotrophic bogs	Евтрофные болота Eutrophic bogs
pH	8,00	7,59	4,38	5,05	5,81
$\Sigma_{\text{ни}}$	7211,8	830,8	52,9	109,3	222,6
$\text{Na}^+$	2124,8	82,2	2,5	1,9	13,0
$\text{Cl}^-$	3874,4	79,2	2,4	3,2	9,3
ХПК / COD	364,69	278,10	322,13	307,88	228,51
Нефтепродукты Petroleum hydrocarbons	0,511	1,579	0,189	0,128	0,157

Примечания:  $\Sigma_{\text{ни}}$  – сумма главных ионов; ХПК – химическое потребление кислорода по бихроматной окисляемости.

Note:  $\Sigma_{\text{ни}}$  is the amount of the main ions; COD is the chemical oxygen demand by dichromate oxidation.

В работе [23] было показано, что, во-первых, дифференциация веществ по генезису может быть выполнена путём расчёта соотношения поступления вещества по сосредоточенным ( $S_c$ ) и распределённым по водосбору источникам загрязнения ( $S_d$ ) к гидрохимическому стоку G. При этом к категории «природных» предложено относить вещества, для

которых величина  $(S_c+S_o)/G$  меньше 5 %, к «преимущественно природным» – величина  $(S_c+S_o)/G$  находится в диапазоне  $5\% \leq (S_c+S_o)/G \leq 20\%$ ; к «природно-антропогенным» – в прочих случаях. Во-вторых, приведено обоснование того, что фоновая концентрация представляет собой условно равновесное состояние системы «вода–порода» и при наличии данных наблюдений может быть рассчитана как среднее геометрическое значение за статистически однородный период. В-третьих, расчёт платы за сброс загрязняющих веществ целесообразно проводить только для веществ природно-антропогенного происхождения.

Химический состав сточных вод и влияние их сброса на состояние водных объектов

Чтобы идентифицировать источники и сам факт загрязнения водного объекта, целесообразно знать характерные содержания различных веществ в сточных водах. С этой целью было проведено обобщение водохозяйственной информации. В результате был сделан вывод о том, что, во-первых, нормативные показатели качества сточных вод не достигаются на большей части очистных сооружений (86 %), причём очистка имеет наименьшую эффективность для органических веществ по ХПК и соединений фосфора, азота и железа. Повышенное содержание нитратов и является показателем того, что необходима дополнительная стадия очистки сточных вод биологических сооружений от продуктов разложения легкоокисляемых органических веществ, превышение нормативных значений других параметров говорит об указанной выше природной специфике рассматриваемой территории (высокой заболоченности), определяющей превышение ПДК уже при заборе воды из поверхностных и подземных источников [40]. Во-вторых, субстрат и сточные воды, содержащиеся в шламовых амбарах нефтегазовых месторождений, содержат значительное количество нефтепродуктов, калия, сульфатов, хлоридов и ряда других веществ (табл. 2). Это свидетельствует о значительном отклонении состояния составляющих объектов добычи и транспортировки нефти от состояния окружающей природной среды, включая водные объекты.

В-третьих, несмотря на многообразие состава сточных вод нефтегазового комплекса Сибири, их ключевое отличие от состава поверхностных вод региона заключается в заметно большем содержании ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , суммы главных ионов. Это связано с тем, что в системе поддержания пластового давления в Западной Сибири используются подземные воды с минерализацией более  $4 \text{ г/дм}^3$  и преобладанием среди анионов хлорид-иона [41]. Учитывая достаточно низкое фоновое содержание  $\text{Cl}^-$  в поверхностных водах региона, концентрации этого иона уже более  $50 \text{ мг/дм}^3$  можно рассматривать как свидетельство загрязнения. В отличие от других показателей, определение  $\text{Cl}^-$  не сложный

процесс и не требует дорогостоящего оборудования [42–44]. Кроме того, возможна косвенная оценка этого показателя по удельной электропроводности [45–46], что позволит использовать её в качестве базового скринингового параметра. В-четвёртых, уровень содержания прочих компонентов, включая вещества, идентифицируемые как нефтепродукты [47], кардинально отличается от содержания этих же веществ в болотных и связанных с ними речных и подземных водах, в основном до 300–500 м от разливов нефти, выпусков сточных вод, шламовых амбаров.

Последний вывод подтверждается как материалами наблюдений, так и результатами математического моделирования распространения загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах (см. рисунок). Так, моделирование последствий сброса в Васюганское болото сточных вод, потенциально образующихся при разработке Бакчарского железорудного узла в Томской области, показало, что достаточно резкое снижение содержания растворённых солей (примерно в три раза) будет происходить на участке до 200 м от выпуска (предположительно, за счёт выведения из раствора малорастворимых соединений, например гуматов кальция и магния, и усвоения минеральных веществ болотной растительностью, состав которой в ряде случаев будет меняться в направлении повышения трофности болотной экосистемы).

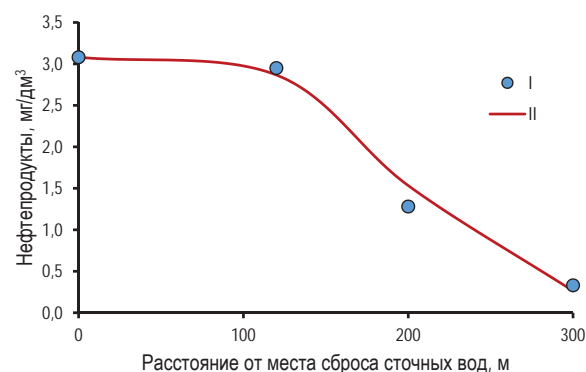


Рисунок. Измеренные (I) и вычисленные (II) концентрации нефтепродуктов в водах Обского болота у с. Мельниково (Томская область, состояние на 12.11.2012)

Figure. Measured (I) and calculated (II) concentration of petroleum hydrocarbons in the Ob bog waters near Melnikovo village (Tomsk region, in the state of 12.11.2012)

Протяженность измененных участков вследствие прямого воздействия стоков, так и изменения трофности болотных экосистем в местах размещения нефтегазодобывающих предприятий может составлять в среднем от 5–10 до 100–200 м, в ряде случаев достигая 500 м. Менее устойчивыми к антропогенному воздействию являются малые реки, озёра и верховые болота, наиболее устойчивыми – низинные болота [8, 9].

Сложный химический состав нефти обуславливает образование устойчивой эмульсии в случае ее утечки в водные объекты. Определено, что нефть

содержит в среднем 57 % алифатических углеводородов, 29 % ароматических углеводородов, 14 % асфальтенов и других соединений [48, 49]. Поэтому идентификацию нефтезагрязнения водоема возможно экспрессно установить по присутствию ароматической фракции посредством применения УФ-флюоресцентного метода. Присутствующие в водоеме органические и биологические вещества не будут существенно мешать определению уровня содержания нефтепродуктов, так как их влияние будет учтено в отклике фона. УФ-флюоресцентный метод сравнительно легко автоматизируется, имеет высокую чувствительность определения нефтепродуктов в воде – до 0,005 мг/дм<sup>3</sup>. Для сравнения: ПДК нефтепродуктов в воде водных объектов хозяйственного назначения составляет 0,3 мг/дм<sup>3</sup> (0,1 мг/дм<sup>3</sup> для многосернистых нефтей), а для водных объектов рыбохозяйственного значения – 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. УФ-флюоресцентные датчики также могут использоваться удаленно.

Таким образом, флюоресцентный отклик может использоваться в качестве скринингового параметра контроля содержания нефтепродуктов в воде.

#### Выводы

Анализ гидрохимической и водохозяйственной информации по нефтедобывающим регионам Западной Сибири показал, что в качестве обязательных критериев выявления влияния нефтегазового комплекса на состояние водных объектов можно использовать: 1) концентрацию хлорид-иона и удельную электропроводность как скрининговый

параметр контроля для выявления случаев сброса подсланевых вод; 2) концентрацию нефтепродуктов как основного продукта рассматриваемого вида хозяйственной деятельности и УФ-флюоресценцию как скрининговый параметр для выявления аварийных нефтеразливов.

Особенность использования первой группы показателей заключается в том, что концентрация хлорид-иона более 50 мг/дм<sup>3</sup> при рыбохозяйственном нормативе 300 мг/дм<sup>3</sup> (хозяйственно-питьевой норматив 350 мг/дм<sup>3</sup>) с большой вероятностью свидетельствует о загрязнении водного объекта. Наблюдение за концентрацией нефтепродуктов для выявления антропогенного загрязнения следует проводить с учетом фонового флюоресцентного отклика, поскольку для болотных и связанных с ними речных и подземных вод часто характерны концентрации подобных веществ в количестве до 0,1–0,2 мг/дм<sup>3</sup> вследствие поступления углеводородов в водную среду при разложении остатков болотной растительности и формировании торфов.

Более или менее уверенная идентификация антропогенного загрязнения по содержанию нефтепродуктов обычно возможна при концентрациях более 1 мг/дм<sup>3</sup> на удалении от потенциальных источников не более чем на 500 м. При этом целесообразно для подтверждения выводов проводить определение нефтепродуктов на условно фоновых участках водных объектов с учётом требований [50] (на реках – в 500 м выше по течению от предполагаемого сброса; на озёрах и болотах – на расстоянии более 500 м).

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ  $r_{a16-48-700230}$ .*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990–07–01. – М.: Госстандарт, 1989. – 38 с.
- Frankel E.G. Systems reliability and risk analysis. – Dordrecht: Kluwer acad. publ., 1988. – 429 p.
- Kundzewicz Z.W., Krysanova V. Climate change and stream water quality in the multi-factor context // *Climatic Change*. – 2010. – V. 103. – № 3–4. – P. 353–362.
- Freeman III A.M., Herriges J.A., Kling C.L. The measurement of environmental and resource values: theory and methods. – New York: Routledge, 2014. – 459 p.
- Chance N.A., Andreeva E.N. Sustainability, equity, and natural resource development in Northwest Siberia and Arctic Alaska // *Human Ecology*. – 1995. – V. 23. – № 2. – P. 217–240.
- IWACO Report, 2001. West Siberia Oil Industry Environmental and Social Profile / Eds. M. Lodewijkx, V. Ingram, R. Willemse. URL: <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2001/5/west-siberia-oil-industry-envi.pdf> (дата обращения: 20.06.2016).
- Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 248 с.
- Прогноз изменения макрокомпонентного состава болотных вод при добыче железных руд в Томской области / О.Г. Савичев, А.К. Мазуров, Н.В. Гусева, В.А. Домаренко, А.А. Хвощевская // *География и природные ресурсы*. – 2016. – № 1. – С. 94–102.
- Savichev O.G., Matveenko I.A., Ivanova E.V. Conditions of contaminant distribution in the wetland water of Western Siberia (the Russian Federation) // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. – 2016. – № 33. – P. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/33/1/012023
- Benedini M., Tsakiris G. Water Quality Modelling for Rivers and Streams. – Dordrecht: Springer, 2013. – 288 p.
- Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: утв. Приказом Мин. прир. ресурсов России от 17.12.2007 г. № 333. – М.: Изд. Мин. природ. ресурсов России, 2008. – 35 с.
- Адам А.М. Оценка экологического состояния территории Западной Сибири в целях обеспечения экологической безопасности в контексте устойчивого природопользования // *Охрана природы: сб. статей / под ред. А.Е. Березина*. Вып. 3 – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 3–12.
- Halicki W. et al. Assessment of physical properties and pH of selected surface waters in the northern part of Western Siberia // *International Journal of Environmental Studies*. – 2015. – V. 72. – № 3. – P. 557–566.
- Hese S., Schmulius C. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West

- Siberia // International journal of applied earth observation and geoinformation. – 2009. – V. 11. – № 2. – P. 130–141.
15. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – М.: Росгидрометслужба, 2001. – 68 с.
  16. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2014 году: государственный доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – М.: НИИ-Природа, 2015. – 270 с. URL: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=142740> (дата обращения: 17.06.2016).
  17. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2014 году: государственный доклад / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – М.: Минприроды России, 2015. – 473 с. URL: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=142679> (дата обращения: 17.06.2016).
  18. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А.В. Караушева. – Л.: Гидрометеоздат, 1981. – 174 с.
  19. Льготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2006. – 88 с.
  20. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2012 году / гл. ред. В.А. Льготин // Информационный бюллетень. Вып. 9. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2013. – 184 с.
  21. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2013 году / Гл. ред. В.А. Льготин // Информационный бюллетень. Вып. 10. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2014. – 244 с.
  22. Состояние геологической среды (недр) территории Сибирского федерального округа в 2014 году / Гл. ред. В.А. Льготин // Информационный бюллетень. Вып. 11. – Томск: АО «Томскгеомониторинг», 2015. – 257 с.
  23. Савичев О.Г. Проблемы нормирования сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты // Вода: химия и экология. – 2010. – № 9. – С. 35–39.
  24. Савичев О.Г. Региональные особенности химического состава речных вод Сибири и их учёт при нормировании сбросов сточных вод // Вода: химия и экология. – 2014. – № 1 (66). – С. 41–46.
  25. Савичев О.Г. Геохимические показатели болотных вод в таежной зоне Западной Сибири // Известия РАН. Серия географическая. – 2015. – № 4. – С. 47–57.
  26. О состоянии окружающей среды Ханты-Мансийского автономного округа в 2000 году / под ред. В.И. Карасева (предс.) и др. // Информационный бюллетень. – Ханты-Мансийск: НПЦ «Мониторинг», 2001. – 132 с.
  27. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2009 году / под ред. А.М. Адама; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Томской области. – Томск: Изд-во «Оптимум», 2010. – 164 с.
  28. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2010 году / под ред. А.М. Адама; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Томской области. – Томск: Изд-во «Графика ДТР», 2011. – 144 с.
  29. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / под ред. А.М. Адама; Департамент природн. ресурсов и охраны окружающ. среды Томской области. – Томск: Изд-во «Графика ДТР», 2012. – 166 с.
  30. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2012 году / под ред. А.М. Адама; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. – Томск: Дельтаплан, 2013. – 172 с.
  31. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2013 году / под ред. А.М. Адама; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. – Томск: Дельтаплан, 2014. – 194 с.
  32. О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2014 году: государственный доклад / под ред. С.Я. Трапезникова; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области. – Томск: Дельтаплан, 2015. – 156 с.
  33. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: МГУ, 1998. – 376 с.
  34. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 71–81.
  35. The world's largest wetlands: ecology and conservation / Eds. L.H. Fraser, P.A. Keddy. – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. – 488 p.
  36. Spatial Patterns of the Evolution of the Chemical Composition and Discharge of River Water in the Ob River Basin / O.G. Savichev, A.K. Mazurov, I.I. Pipko, V.I. Sergienko, I.P. Semiletov // Doklady Earth Sciences. – 2016. – V. 466. – P. 1. – P. 47–51. DOI: 10.1134/S1028334X16010141
  37. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast / S.L. Shvartsev, O.V. Serebrennikova, M.A. Zdvizhkov, O.G. Savichev, O.S. Naimushina // Geochemistry International. – 2012. – V. 50. – № 4. – P. 367–380.
  38. Winter T.C. et al. Natural processes of ground-water and surface-water interaction // Ground Water and Surface Water: a Single Resource, US Geological Survey Circular. – 1998. – V. 1139. – P. 2–50.
  39. Савичев О.Г., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Геохимические условия размещения и утилизации отходов бурения в торфяно-болотных геосистемах Сибири // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 375. – С. 183–186.
  40. Савичев О.Г., Базанов В.А., Ломакина Н.Ю. Анализ эффективности очистки коммунально-бытовых сточных вод в Томской области // Вестник науки Сибири: Серия: Науки о Земле. – 2012. – № 1. – Т. 2. – С. 17–24. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15994> (дата обращения: 20.06.2016).
  41. Охрана окружающей среды в территориальном Западно-Сибирском комплексе. Обзорная информация. Вып. 6 (80). – М.: Нефтяная промышленность, 1988. – 53 с.
  42. Crompton T.R. Determination of anions: a guide for the analytical chemist. – Berlin: Springer, 1996. – 583 p.
  43. Berger M. Potentiometric determination of chloride in natural waters: an extended analysis // Journal of Chemical Education. – 2012. – V. 89. – № 6. – P. 812–813.
  44. Danial L.H. Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater // Technical Information Series, Booklet no. 17. – Loveland: Hach Company Inc., 2002. – 30 p.
  45. Peinado-Guevara H. et al. Relationship between chloride concentration and electrical conductivity in groundwater and its estimation from vertical electrical soundings (VES) in Guasave, Sinaloa, Mexico // Ciencia e investigación agraria. – 2012. – V. 39. – № 1. – P. 229–239.
  46. Abyaneh H.Z. et al. Chloride estimation in ground water from electrical conductivity measurement // Tarim bilimlari dergisi. – 2005. – V. 11. – № 1. – P. 110–114.
  47. Speight J.G. Total Petroleum Hydrocarbons // Environmental Analysis and Technology for the Refining Industry. – 2005. – V. 168. – P. 207–235.
  48. Волкова К.В., Успенская М.В., Глазачева Е.Н. Химия нефти и моторного топлива. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 89 с.

49. Kovalenko E.Y., Sagachenko T.A., Min R.S. Aromatic hydrocarbons and heteroaromatic compounds in oily components of heavy crude oil // Higher Educational Institutions News. Oil and Gas. – 2014. – № 1. – P. 84–90.
50. РД 52.24.622–2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – М.: Федер. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2001. – 68 с.

*Поступила 19.07.2016 г.*

#### **Информация об авторах**

**Адам А.М.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологического менеджмента Биологического института Национального исследовательского Томского государственного университета.

**Бегун М.В.**, начальник Главного управления МЧС России по Томской области.

**Дмитриев А.В.**, генеральный директор АНО «Томский демонстрационно-консультационно-образовательный центр ресурсосбережения и энергоэффективности».

**Купрессова Е.А.**, аспирант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Ледовская А.М.**, аспирант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Романенко С.В.**, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Савичев О.Г.**, доктор географических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 502.51:502.175

## HYDROSPHERE OBJECTS SCREENING CONTROL TO DETECT EMERGENCY OIL SPILL

**Alexandr M. Adam<sup>1</sup>,**  
adam@green.tsu.ru

**Mikhail V. Begun<sup>2</sup>,**  
svr@tpu.ru

**Alexandr V. Dmitriev<sup>3</sup>,**  
dmitriev777@mail.ru

**Ekaterina A. Kupressova<sup>4</sup>,**  
kipariz@bk.ru

**Anna M. Ledovskaya<sup>4</sup>,**  
sokolovaam@tpu.ru

**Sergey V. Romanenko<sup>4</sup>,**  
svr@tpu.ru

**Oleg G. Savichev<sup>4</sup>,**  
osavichev@mail.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk State University,  
36, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

<sup>2</sup> Russian Emergencies Ministry Main Office for Tomsk Region,  
26, Mira Avenue, Tomsk, 634057, Russia.

<sup>3</sup> INO «Tomsk Demonstrational Consulting Educational Center of Resource Saving and Energy Efficiency»,  
51, Belinskiy Street, Tomsk, 634034, Russia.

<sup>4</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

**The current importance** is caused by the need to improve the methodological and instrumental support, which corresponds to modern conditions and regional features, being one of the fundamental challenges before the environmental monitoring systems. Screening approach to solving this problem will become more advanced analytical tool condition monitoring of water bodies, especially those located in remote and difficult to access areas with high anthropogenic impact – oil production areas, allowing identifying quickly the occurrence of abnormal and emergency situations, leading to a negative impact on the environment, and taking more effective measures to eliminate them.

**The aim** of the research is to prove water resources screening control methodology of remote oil production areas for detecting emergency oil spills on the example of Tomsk region.

**The research methods.** It is proposed to use a screening approach to obtain information on the quality of natural waters, as well as timely detection of emergency situations occurred on the oil production and transportation facilities, leading to oil discharges to water bodies, together with the use of automated remote sensing methods and GIS technologies. For this purpose the environmental and geochemical conditions of water bodies in the accommodation areas of oil and gas companies were analyzed.

**The results and conclusions.** The evaluation of the characteristic substances in the surface waters of the Ob River basin is carried out. The excess of the established water quality standards in most cases is caused by regional features of formation of their composition. The main difference of waste water composition of oil and gas complex of Siberia from the regional surface waters is expressed in rather larger content of Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> ions, the sum of the main ions. The petroleum hydrocarbon content in produced waste water, sludge pits waters differs significantly from their concentrations in wetlands and rivers and groundwater, associated with them, that confirms the need to improve the effluents control and implementation of emergency early warning systems. It is necessary to use direct indicators (total petroleum hydrocarbons content by the fluorescence response) together with the indirect ones (chloride ion concentration, conductivity) as screening criteria in the accident detection methodology in oil production and transportation areas. It is caused by the peculiarities of their identification in natural aquatic environments. It was ascertained that the detection of anthropogenic oil pollution would be most reliable at concentrations from 1 mg/dm<sup>3</sup> at a distance from the potential sources not more than 500 m.

### **Key words:**

Petroleum hydrocarbons, screening of water bodies quality, automated monitoring of water bodies, petroleum hydrocarbons concentration monitoring in natural waters, environmental monitoring in oil and gas complex.

*The research was supported by the grant issued in accordance with RFBR r<sub>a</sub> 16–48–700230.*



## REFERENCES

1. GOST 27.002–89. *Nadezhnost v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya* [State Standard 27.002–89. Reliability in engineering. Basic concepts. Terms and definitions.] Moscow, Gosstandart Publ., 1990. 38 p.
2. Frankel E.G. *Systems reliability and risk analysis*. Dordrecht, Kluwer acad. Publ., 1988. 429 p.
3. Kundzewicz Z.W., Krysanova V. Climate change and stream water quality in the multi-factor context. *Climatic Change*, 2010, vol. 103, no. 3–4, pp. 353–362.
4. Freeman III A.M., Herriges J.A., Kling C.L. *The measurement of environmental and resource values: theory and methods*. New York, Routledge, 2014. 459 p.
5. Chance N.A., Andreeva E.N. Sustainability, equity, and natural resource development in Northwest Siberia and Arctic Alaska. *Human Ecology*, 1995, vol. 23, no. 2, pp. 217–240.
6. *IWACO Report, 2001. West Siberia Oil Industry Environmental and Social Profile*. Eds. M. Lodewijkx, V. Ingram, R. Willemsse. Available at: <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/report/2001/5/west-siberia-oil-industry-envi.pdf> (accessed 20 June 2016).
7. Savichev O.G. *Vodnye resursy Tomskoy oblasti* [Hydro resources of Tomsk region]. Tomsk, TPU Publ. house, 2010. 248 p.
8. Savichev O.G., Mazurov A.K., Guseva N.V., Domarenko V.A., Khvashchevskaya A.A. Prognoz izmeneniya makrokomponentno-go sostava bolotnykh vod pri dobyche zheleznykh rud v Tomskoy oblasti [Forecast of change in bog water macrocomponental composition when producing iron ore in Tomsk region]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2016, no. 1, pp. 94–102.
9. Savichev O.G., Matveenkov I.A., Ivanova E.V. Conditions of contaminant distribution in the wetland water of Western Siberia (the Russian Federation). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2016, no. 33, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/33/1/012023
10. Benedini M., Tsakiris G. *Water Quality Modelling for Rivers and Streams*. Dordrecht, Springer, 2013. 288 p.
11. *Metodika razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye obekty dlya vodopolzovateley* [Method for developing norms of permissible discharges of substances and microorganisms into water bodies for water users]. Approved by the Order of the MNR of Russia 17.12.2007 no. 333. Moscow, 2008. 35 p.
12. Adam A.M. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya territorii Zapadnoy Sibiri v tselyakh obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti v kontekste ustoychivogo prirodopolzovaniya [Ecological state assessment of Western Siberia territory to ensure environmental safety in the context of sustainable natural management]. *Okhrana prirody: sbornik statey*. [Nature conservation: collection of articles]. Ed. by E.A. Berezin. Tomsk, NTL Publ., 2005. Iss. 3, pp. 3–12.
13. Halicki W. Assessment of physical properties and pH of selected surface waters in the northern part of Western Siberia. *International Journal of Environmental Studies*, 2015, vol. 72, no. 3, pp. 557–566.
14. Hese S., Schmuilius C. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 2009, vol. 11, no. 2, pp. 130–141.
15. *Provedenie raschetov fonovykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode vodotokov* [Guidelines. Calculations of background concentrations of chemicals in water streams]. Moscow, Rosgidrometsluzhba Publ., 2001. 68 p.
16. O sostoyanii i ispolzovanii vodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2014 godu [On the state and utilization of water resources of the Russian Federation in 2014]. *Gosudarstvenny doklad* [State report]. Moscow, NIA-Priroda Publ., 2015. 270 p. Available at: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php? ID=142740> (accessed 17 June 2016).
17. O sostoyanii i obokhrane okruzhayushchey srede Rossiyskoy Federatsii v 2014 godu [On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2014]. *Gosudarstvenny doklad* [State report]. Moscow, Ministry of natural resources and environment of the Russian Federation, 2015. 473 p. Available at: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php? ID=142679> (accessed 17 June 2016).
18. Karasheva A.V. *Metodicheskie osnovy otsenki antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod* [Methodic bases in estimating anthropogenic impact on surface water quality]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1981. 174 p.
19. Lgotin V.A., Savichev O.G., Nigorozhenko V.Ya. *Sostoyanie poverkhnostnykh vodnykh obektov, vodokhozyaystvennykh sistem i sooruzheniy na territorii Tomskoy oblasti* [State of surface water bodies, water management systems and structures on the territory of Tomsk region]. Tomsk, OJSCo Tomskgeomonitring Publ., 2006. 88 p.
20. Lgotin V.A. Sostoyanie geologicheskoy srede (nedr) territorii Sibirskogo federalnogo okruga v 2012 godu [Condition of geological environment (subsoil) of the Siberian Federal District territory in 2012]. *Informatsionny byulleten* [Newsletter]. Tomsk, OJSCo Tomskgeomonitring Publ., 2013. No. 9, 184 p.
21. Lgotin V.A. Sostoyanie geologicheskoy srede (nedr) territorii Sibirskogo federalnogo okruga v 2013 godu [Condition of geological environment (subsoil) of the Siberian Federal District territory in 2013]. *Informatsionny byulleten* [Newsletter]. Tomsk, OJSCo Tomskgeomonitring Publ., 2014. No. 10, 244 p.
22. Lgotin V.A. Sostoyanie geologicheskoy srede (nedr) territorii Sibirskogo federalnogo okruga v 2014 godu [Condition of geological environment (subsoil) of the Siberian Federal District territory in 2014]. *Informatsionny byulleten* [Newsletter]. Tomsk, JSCo Tomskgeomonitring Publ., 2015. No. 11, 257 p.
23. Savichev O.G. Problemy normirovaniya sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v poverkhnostnye vodnye obekty [Rationing contaminants discharge problems in surface water bodies]. *Voda: khimiya i ekologiya – Water: chemistry and ecology*, 2010, no. 9, pp. 35–39.
24. Savichev O.G. Regionalnye osobennosti khimicheskogo sostava rechnykh vod Sibiri i ikh uchety pri normirovanii sbrosov stochnykh vod [Regional features of chemical composition of river waters in Siberia and their account at normalization of dumps of sewage]. *Voda: khimiya i ekologiya – Water: chemistry and ecology*, 2014, no. 1 (66), pp. 41–46.
25. Savichev O.G. Geochemical parameters of bog waters in the taiga zone of Western Siberia. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Geography Series*, 2015, no. 4, pp. 47–57. In Rus.
26. *O sostoyanii okruzhayushchey srede Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga v 2000 godu* [On environment state of the Khanty-Mansi autonomous district in 2000]. Khanty-Mansiysk, NPPTS Monitoring Publ., 2001. 132 p.
27. *Ekologicheskii monitoring: Sostoyanie okruzhayushchey srede Tomskoy oblasti v 2009 godu* [Environmental monitoring: State of the environment of Tomsk region in 2009]. Ed. by A.M. Adam. Tomsk, Optimum Publ., 2010. 164 p.
28. *Ekologicheskii monitoring: Sostoyanie okruzhayushchey srede Tomskoy oblasti v 2010 godu* [Environmental monitoring: State of the environment of Tomsk region in 2010]. Ed. by A.M. Adam. Tomsk, Grafika DTP Publ., 2011. 144 p.
29. *Ekologicheskii monitoring: Doklad o sostoyanii okruzhayushchey srede Tomskoy oblasti v 2011 godu* [Environmental monitoring: State of the environment of Tomsk region in 2011]. Ed. by A.M. Adam. Tomsk, Grafika DTP Publ., 2012. 166 p.

30. *Ekologicheskiy monitoring: Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti v 2012* [Environmental monitoring: State of the environment of Tomsk region in 2012]. Ed. by A.M. Adam. Tomsk, Deltaplan Publ., 2013. 172 p.
31. *Ekologicheskiy monitoring: Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti v 2013 godu* [Environmental monitoring: State of the environment of Tomsk region in 2013]. Ed. by A.M. Adam. Tomsk, Deltaplan Publ., 2014. 194 p.
32. *O sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Tomskoy oblasti v 2014 godu* [On state and environmental protection of Tomsk region in 2014]. Ed. by S.Ya. Trapeznikov. Tomsk, Deltaplan Publ., 2015. 156 p.
33. Solntseva N.P. *Dobycha nefi i geokhimiya prirodnykh landshaf-tov* [Oil extraction and geochemistry of natural landscapes]. Moscow, Moscow State University Press, 1998. 376 p.
34. Moskovchenko D.V., Babushkin A.G. Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava snegovykh vod na territorii khanty-mansiyskogo avtonomnogo okruga [Features of snow water chemical composition formation of the Khanty-Mansi autonomous district] *Kriosfera Zemli*, 2012, vol. 16, no. 1, pp. 71–81.
35. Fraser L.H., Keddy P.A. *The world's largest wetlands: ecology and conservation*. Cambridge, Cambridge University Press, 2005. 488 p.
36. Savichev O.G., Mazurov A.K., Pipko I.I., Sergienko V.I., Semile-tov I.P. Spatial Patterns of the Evolution of the Chemical Composition and Discharge of River Water in the Ob River Basin. *Doklady Earth Sciences*, 2016, vol. 466, P. 1, pp. 47–51. DOI: 10.1134/S1028334X16010141.
37. Shvartsev S.L., Serebrennikova O.V., Zdvizhkov M.A., Sa-vichev O.G., Naimushina O.S. Geochemistry of wetland waters from the lower Tom basin, Southern Tomsk oblast. *Geochemistry International*, 2012, vol. 50, no. 4, pp. 367–380.
38. Winter T.C. Natural processes of ground-water and surface-water interaction. *Ground Water and Surface Water: a Single Resource, US Geological Survey Circular*, 1998, vol. 1139, pp. 2–50.
39. Savichev O.G., Bernatonis P.V., Bernatonis V.K. Geochemical conditions of placement and disposal of drilling waste in peat god geosystems of Siberia. *Bulletin of Tomsk State University*, 2013, no. 375, pp. 183–186. In Rus.
40. Savichev O.G., Bazanov V.A., Lomakina N.Y. Analiz effektivnosti ochistki kommunalno-bytovykh stochnykh vod v Tomskoy oblasti [Analysis of municipal wastewater treatment effectiveness in the Tomsk region]. *Siberian Journal of Science*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 17–24. In Rus. Available at: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/15994> (accessed 20 June 2016).
41. *Okhrana okruzhayushchey sredy v territorialnom Zapadno-Sibirskom komplekse. Obzornaya informatsiya* [Environmental protection in the West Siberian territorial complex. Overview]. Moscow, Neftyanaya promyshlennost Publ., 1998. Vol. 6 (80), 53 p.
42. Crompton T.R. *Determination of anions: a guide for the analytical chemist*. Berlin, Springer Science & Business Media, 2012. 583 p.
43. Berger M. Potentiometric determination of chloride in natural waters: an extended analysis. *Journal of Chemical Education*, 2012, vol. 89, no. 6, pp. 812–813.
44. Danial L.H. Current Technology of Chlorine Analysis for Water and Wastewater. *Technical Information Series, Booklet no. 17*. Loveland, Hach Company Inc., 2002. 30 p.
45. Peinado-Guevara H. Relationship between chloride concentration and electrical conductivity in groundwater and its estimation from vertical electrical soundings (VESs) in Guasave, Sinaloa, Mexico. *Ciencia e investigación agrarian*, 2012, vol. 39, no. 1, pp. 229–239.
46. Abyaneh H.Z. Chloride estimation in ground water from electrical conductivity measurement. *Tarim bilimlari dergisi*, 2005, vol. 11, no. 1, pp. 110–114.
47. Speight J.G. Total Petroleum Hydrocarbons. *Environmental Analysis and Technology for the Refining Industry*, 2005, vol. 168, pp. 207–235.
48. Volkova K.V., Uspenskaya M.V., Glazacheva E.N. *Khimiya nefi i motornogo topliva* [Oil and motor fuel chemistry]. St. Petersburg, ITMO University Press, 2015. 89 p.
49. Kovalenko E.Y., Sagachenko T.A., Min R.S. Aromatic hydrocarbons and heteroaromatic compounds in oily components of heavy crude oil. *Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 2014, no. 1, pp. 84–90.
50. *RD 52.24.622–2001. Metodicheskie ukazaniya. Provedenie raschetov fonovykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode vodotokov* [Regulatory Document 52.24.622–2001. Calculations of background concentration of chemicals in water of water-courses]. Moscow, Roshydromet Publ., 2001. 68 p.

*Received: 19 July 2016.*

#### Information about the authors

**Alexandr M. Adam**, Dr. Sc., professor, head of the department, National Research Tomsk State University.

**Mikhail V. Begun**, the head, Russian Emergencies Ministry Main Office for Tomsk Region.

**Alexandr V. Dmitriev**, managing director, INO «Tomsk Demonstrational Consulting Educational Center of Resource Saving and Energy Efficiency».

**Ekaterina A. Kupressova**, postgraduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Anna M. Ledovskaya**, postgraduate student, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Sergey V. Romanenko**, Dr. Sc., professor, head of the department, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Oleg G. Savichev**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.