

© В.М. КАЛИНИН, В.Ю. ХОРОШАВИН, О.В. ГЕРТЕР,
А.Н. ЗНАМЕНЩИКОВ, А.Г. МАЛЬЦЕВ, Д.В. ПИСЛЕГИН

vm_kalinin@mail.ru, purriver@mail.ru, ecoins72@mail.ru

УДК 556:622.32(512.12)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

АННОТАЦИЯ. В статье представлена методика организации экологического мониторинга на малых реках, дренирующих территории нефтяных месторождений севера Западной Сибири, с использованием автоматизированных комплексов российского производства.

SUMMARY. The article presents methods of ecological monitoring on small rivers, draining the territories of oilfields in the North of Western Siberia, with the use of Russian automated systems.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Автоматизированные гидрологические комплексы, экологический мониторинг, диффузное загрязнение, нефтяные углеводороды.

KEY WORDS. Automated hydrological systems, environmental monitoring, diffuse pollution, petroleum hydrocarbons.

Введение. Организация и проведение экологического мониторинга — одно из важнейших мероприятий, служащих формированию устойчивого природопользования на той или иной территории. Эта задача особенно актуальна в районах нефтегазодобычи Севера Западной Сибири, характеризующихся сложной климатической обстановкой, ограниченной транспортной доступностью и иногда слабой кадровой обеспеченностью мониторинговых работ.

Особое внимание при проведении экологического мониторинга уделяется водным объектам, в первую очередь малым рекам, водосборы которых подвергаются воздействию нефтепромысловых объектов. К проблемным моментам, связанным с организацией гидроэкологического мониторинга на малых реках Западной Сибири, относится то, что не всегда имеется фоновая региональная характеристика качества вод и некорректно размещаются точки отбора проб. Один из самых главных недостатков — отбор проб природных вод из поверхностных водных объектов для проведения анализа на содержание загрязняющих веществ — практически никогда не сопровождается контролем гидрологических параметров (уровень воды, расход воды в русле, фаза гидрологического режима и т.д.). Это делает невозможным анализ причин динамики содержания поллютантов в водных объектах в течение периода наблюдений.

Выход из данной ситуации — это сопряженное по времени проведение гидрометрических и гидрохимических работ в постоянных точках гидроэкологического мониторинга. Но необходимость применения при этом гидрометрических вертушек, штанг, маломерных плавательных средств затрудняет работу, снижает продуктивность. Автоматизированные гидрологические комплексы, способные работать продолжительное время в автономном режиме, помогают ускорить и упростить проведение мониторинговых работ.

Экспериментальная часть. С целью выявления функциональности и апробации применения автоматизированных гидрологических комплексов для ведения мониторинговых работ на реках региона в полевой сезон 2011 г. на одной из малых рек, протекающих через нефтепромысловую территорию, были проведены работы по организации гидрологического поста (ГП). В качестве экспериментальной была выбрана типичная для севера Западной Сибири река Малая Емьега, протекающая через территорию эксплуатируемого на протяжении 20 лет Емьеговского месторождения нефти в Октябрьском районе Ханты-Мансийского автономного округа.

Для оборудования гидропоста были приобретены автоматизированные гидрологические комплексы российского производства — ГРС-3 и ГРК-1, разработанные и изготовленные ГУ «НПО «Тайфун» (г. Обнинск Калужской обл.). Комплекс ГРК-1 предназначен для автоматического измерения температуры и уровня поверхностных вод, а также занесения данных на постоянный или съемный носитель. Прибор способен в течение полугода ежечасно считывать и запоминать информацию об уровне воды, что позволяет определять площадь живого сечения русла исследуемой реки [1].

Гидрологический комплекс ГРС-3 используется для измерения скорости и направления течения, температуры воды, гидростатического давления при исследованиях гидрологических режимов рек. Срок автономной работы комплекса при периодичности измерения 12 ч. составляет 3 месяца с записью данных в память сопряженного блока [2].

С целью верификации указанных комплексов относительно уровней воды в реке был создан свайный водомерный пост, расположенный на правом пологом берегу р. Мал. Емьеган и состоящий из 6 свай. Комплексы ГРК-1 и ГРС-3 в режимном исполнении разместили на дне в центральной части русла. Путем геометрического нивелирования выполнено определение высотного положения датчика скорости (ДС) комплекса ГРС-3. Высотное положение ДС фиксировалось относительно оголовка ближайшей уровенной сваи, абсолютная высота которой выведена по реперу при нивелировке свайного поста.

При организации гидроэкологического мониторинга наиболее целесообразным является использование комплекса ГРС-3, так как спектр измерений этого прибора более широк. С его помощью можно получить информацию о скорости течения воды в русле, что имеет большое значение при расчете расхода воды. В свою очередь, данные о расходе воды могут быть востребованы с целью предупреждения чрезвычайных гидрологических ситуаций на мостовых и трубопроводных переходах и для количественной оценки выноса нефтяных углеводородов с территорий промыслов.

Установка автоматизированного поста начинается с выбора наиболее подходящего места, отвечающего требованиям прямолинейности, устойчивости

и открытости русла, с незатапливаемой поймой, там, где нет помех для свободного течения (древесные завалы, переходы трубопроводов, гидротехнические сооружения и пр.). Важным требованием для установки автоматизированного поста служит простота подхода к сваям, наличие транспортного подъезда.

После выбора места расположения гидропоста производится промер глубин с интервалом от 0,5 до 50 м в зависимости от общей ширины русла. В случае с ГП №1 на реке Малая Емьга ширина русла составила в среднем за год 9 м (минимум 7 м, максимум 10,5 м). Для наиболее подробной съемки профиля русла промерные вертикали были заложены через 0,5 м. Распределение глубин по профилю русла при среднем за год уровне стояния воды представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты промеров глубин на гидрометрическом посту №1 (ГП №1)
р. Мал. Емьган при среднегодовом уровне воды**

№ вертикали		Расстояние от постоянного начала (уреза воды), м	Глубина h, см		
промерной	скоростной		I	II	средняя
Урез правого берега	-	0	0	0	0
1	-	0,5	33	34	33
2	1	1	75	75	75
3	2	1,5	91	93	92
4	3	2	108	112	110
5	4	2,5	138	138	138
6	5	3	139	141	140
7	6	3,5	150	150	150
8	7	4	154	155	154
9	8	4,5	143	143	143
10	9	5	128	129	129
11	10	5,5	123	125	124
12	11	6	89	91	90
13	12	6,5	111	110	110
14	13	7	90	92	91
15	14	7,5	70	74	72
16	15	8	55	56	55
17	16	8,5	45	45	45
18	-	9	22	24	23
Урез левого берега	-	9,4	0	0	0

Скоростные вертикали заложены через 0,5-1 м. На каждой промерной вертикали были проведены замеры скоростей с применением зондирующего варианта ГРС-3 одноточным методом (при глубинах до 1 м) и двухточечным (при глубинах более 1 м).

Промер глубин позволяет получить площадь живого сечения русла в каждой из его частей (S , м²), а измерение скоростей комплексом ГРС-3 (V , м/с) обеспечивает информационную базу для расчета объема воды, проходящей через исследуемую часть русла за единицу времени — расход (Q , м³/с).

Сложность задачи состоит в том, что при стационарной автономной работе датчик скорости гидрологического комплекса установлен в одной конкретной точке русла, в случае нашего эксперимента — на стрежне возле дна. Но для вычисления расхода воды необходимо распределение скоростей по всему руслу, так как скорости зависят от шероховатости дна, от глубины и других факторов. Поэтому для установления скоростей течения воды и последующего выведения уравнений связи скорости течения воды в различных точках русла и скорости течения на стрежне возле дна (в месте расположения ДС ГРС) были проведены измерительные работы с применением зондирующего варианта ГРС-3.

Схема расположения скоростных вертикалей и точек замеров на них приведена на рис. 1. Для опыта взяты условия среднего годового уровня воды, при которых получилось 16 вертикалей с 27 точками. На основании пятикратной скоростной съемки в отмеченных на рисунке точках была построена база данных скоростей течения воды по руслу реки Мал. Емьга в створе ГС № 1. Съемка проводилась в разные фазы гидрологического режима — весной (перед вскрытием (14.03.11) и в половодье (14.05.11)), летом (в период прохождения дождевых паводков (31.07.11), в летнюю межень (28.08.11)), осенью при дождевых паводках (11.10.11). Таким образом, база содержит данные о распределении скоростей течений воды по руслу при различной водности в течение более чем половины гидрологического года (с марта по октябрь).

На основании этой базы данных были получены уравнения связи между скоростью течения на стрежне возле дна в точке размещения ДС ГРС (V_{dc}) и в нескольких точках живого сечения русла (V_n). Общий вид этих связей представлен формулой (1).

$$V_n = a \ln(V_{dc}) + b, \quad (1)$$

где a , b — числовые параметры, значения которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения числовых параметров в формуле (1)

№ точки	параметры		Коэф. корреляции (R^2)	№ точки	параметры		Коэф. корреляции (R^2)
	a	b			a	b	
1	0,128	-0,008	0,840	15	0,522	4,752	0,693
2	1,264	-2,705	0,901	16	5,074	2,130	0,795

Окончание табл. 2

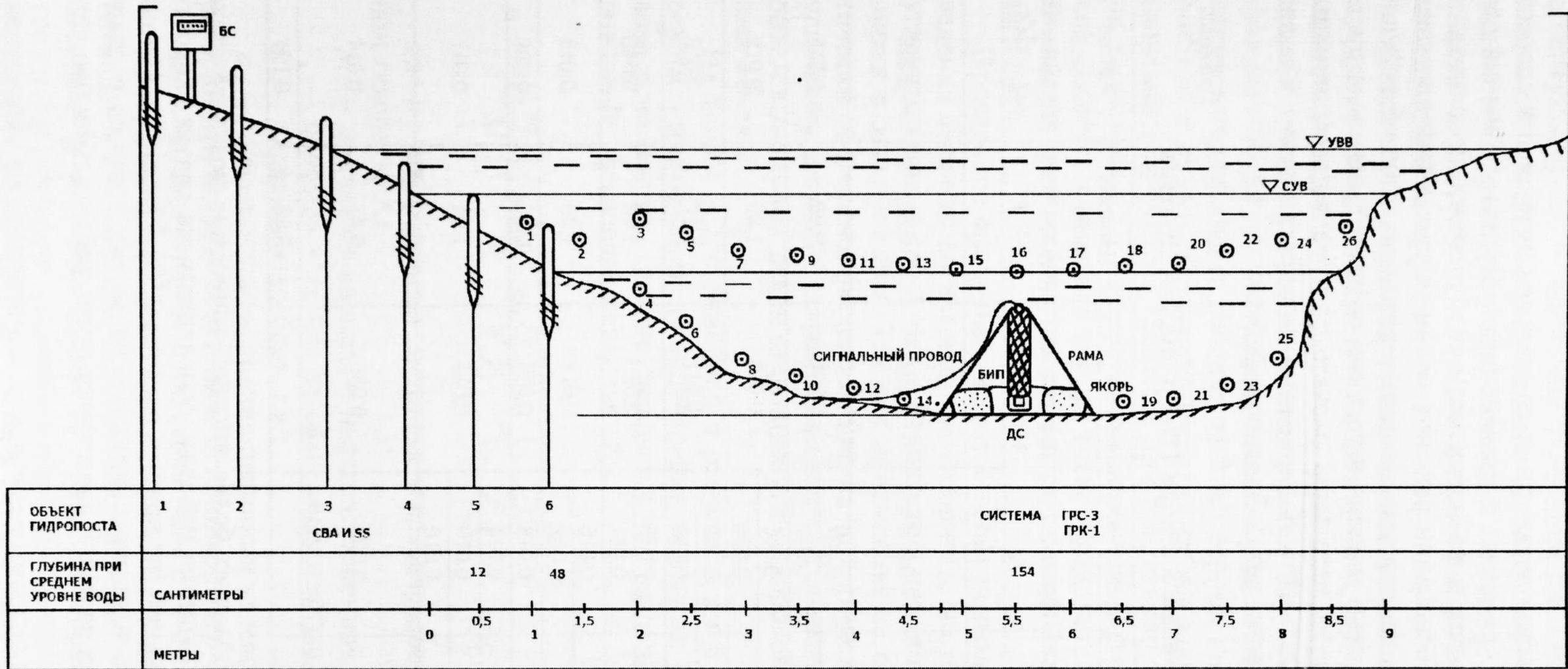
3	1,478	2,212	0,952	17	4,716	0,420	0,784
4	1,979	1,061	0,996	18	3,599	0,480	0,817
5	1,192	2,869	0,876	19	4,338	1,136	0,710
6	1,943	1,143	0,985	20	3,038	1,819	0,752
7	1,728	1,204	0,990	21	5,706	2,933	0,902
8	1,749	0,910	0,989	22	1,534	,136	0,989
9	1,783	1,122	0,990	23	5,952	0,431	0,792
10	1,462	1,568	0,995	24	5,156	2,019	0,813
11	1,605	1,239	0,994	25	4,388	-0,031	0,808
12	1,688	2,224	0,909	26	4,296	-0,005	0,812
13	0,692	4,020	0,526	27	0,209	0,080	0,944
14	0,983	4,189	0,795				

Матрица позволяет, имея всего два параметра — скорость течения и уровень воды на стрежне, оперативно контролируемых приборами ГРС-3 и ГРК-1 в автономном режиме, получать скорость течения по всему руслу, и впоследствии восстановить профиль живого сечения русла и среднюю скорость водного потока на момент измерения. Все это в итоге дает возможность рассчитать расход воды в нужный момент времени, получить объем воды, прошедшей через створ за период половодья, дождевых паводков или межени, в период между наблюдениями и т.д.

Результаты и их обсуждение. Проверка эффективности расчетной схемы проведена путем сравнения фактических промеров глубин и измерения скоростей, расчетов на фактических данных расхода воды по состоянию на 31.07.11 и расчета скоростей и расхода воды по матрице уравнений (табл. 2) на основании двух известных параметров — уровня воды и скорости течения на стрежне в точке расположения ДС ГРС-3 ($V_{дс}$).

Замер глубин и фактических скоростей течений произведен во всех точках, показанных на схеме (рис. 1). Расчет расхода воды на основании фактических замеров представлен в табл. 3.

Скорость течения в точке « $V_{дс}$ » на 31.07.11, согласно данным ГРС-3, составила 0,008 м/с, глубина 154 см, что соответствует уровню «0» на оголовке сваи №5. Решение уравнений матрицы позволило получить скорости течения на каждой опытной точке. Расхождение фактической и расчетной скорости течения на точках было различным, составляя в среднем 12%, что немного превышает 10%-ый порог точности расчетов и измерений при гидрологических работах. Причем колебания от фактической величины были как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения скорости потока, «выравнивая» тем самым среднюю скорость близко к фактической.



БИП - БЛОК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПОГРУЖНОЙ

БС - БЛОК СОПРЯЖЕНИЯ

ДС - ДАТЧИКИ СКОРОСТИ, ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ ВОДНОГО ПОТОКА

УВВ - УРОВЕНЬ ВЫСОКОЙ ВОДЫ

СУВ - СРЕДНИЙ ГОДОВОЙ УРОВЕНЬ ВОДЫ

НУВ - НИЖНИЙ УРОВЕНЬ ВОДЫ

26 ⊙ - ОПОРНЫЕ ТОЧКИ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ

Рис. 1. Схема автоматизированного гидрологического поста №1 на р. Малый Емъеган

Как видно из табл. 3, расход воды при среднем годовом уровне и скорости течения составляет 0,154 м³/с. Расчет с применением матрицы уравнений дает результат 0,165 м³/с. Разница в расходах воды, полученных на основании фактических данных, и на основании решения матрицы уравнений составила не более 8%. Таким образом, применение автоматизированных станций, ведущих наблюдение только за скоростью течения и уровнем воды в одной точке русла, в сочетании с представленной методикой расчета расхода воды с помощью матрицы уравнений позволяет вести полноценные гидрометрические и гидро-экологические работы на малых реках Западной Сибири.

Таблица 3

Расчет расхода воды в створе ГП-1 р. Малый Емъеган

№ скоростной вертикали	Расстояние от постоянного начала	Средняя скорость, м/с			Площадь между вертикалями, Δw , м ²	Расход между вертикалями, ΔQ_i , м ³ /с
		На вертикали, v_a	Между вертикалями, v_{cp}^*	Между расчетными вертикалями		
1	2	3	4	5	6	7
Урез правого берега	0	0,039	0,034	0,034	0,38	0,013
1	1					
2	1,5	0,031	0,027	0,020	0,92	0,018
3	2	0,014	0,012			
4	2,5	0,018	0,016	0,010	1,25	0,012
5	3	0,006	0,005			
6	3,5	0,010	0,009	0,011	1,47	0,016
7	4	0,015	0,013			
8	4,5	0,028	0,025	0,028	1,42	0,040
9	5	0,035	0,031			
10	5,5	0,017	0,015	0,012	1,09	0,013
11	6	0,009	0,008			
12	6,5	0,021	0,018	0,018	0,50	0,009
13	7	0,016	0,014			
14	7,5	0,011	0,010	0,014	1,24	0,017
15	8	0,021	0,018			
16	8,5					
Урез левого берега	9,4	0,040	0,035	0,035	0,41	0,014
Итого	9,4				8,68	0,154

Рассмотренный подход обладает более высокой точностью подсчета стока воды по сравнению с традиционным методом, основанным на связях скорости течения и расхода воды с уровнем (по кривым расходов) [3]. Указанные кривые отличаются неустойчивостью и неоднозначностью на ветвях подъема и спада уровня, при наличии ледовых явлений, зарастании русла растительностью, при подпоре и др.

Вторым шагом в ведении гидроэкологического мониторинга на автоматизированном посту является отбор проб воды на анализ содержания поллютантов,

в первую очередь — нефтяных углеводородов, как одного из основных и опасных загрязняющих веществ региона. Автоматизировать отбор проб в отдаленных зонах месторождений невозможно, поэтому пробоотборная и химико-аналитическая работа остается задачей, требующей постоянного привлечения исполнителей и транспорта.

Отбор проб воды на выявление содержания нефтяных углеводородов производится в стеклянную однолитровую тару, изготовленную из темного стекла. Перед отбором бутыль 2 раза промывается водой из исследуемого водного объекта в месте отбора пробы. Глубина погружения бутылки составляет 30-50 см. Набиралась вода с расчетом на то, что с целью консервации в пробу будут добавлены 2 мл серной кислоты и 10 мл четыреххлористого углерода. Горлышко бутылки перед закрытием пробки закрывается пищевой алюминиевой фольгой для предотвращения возможности контакта растворителя (CCl_4) с пластиковой пробкой. Далее бутыль закрывается пробкой, снабжается этикеткой и транспортируется при температуре $\sim +5^\circ C$. В лаборатории анализ производится по любой необходимой исследователю методике.

Проведение описанных в статье работ позволит не только решить задачу ведения гидроэкологического мониторинга, но и выяснить объем нефтяных углеводородов, выносимых с территорий нефтяных месторождений, находящихся в эксплуатации. Так как наблюдение за объемом стока ведутся практически постоянно, экстраполяция на них сведений о содержании нефтяных углеводородов от 6-7 семикратных замеров позволяет достаточно точно оценить объем выносимых рекой нефтяных углеводородов и площадь нефтезагрязненных земель.

На основе долговременной и разнопериодной (по фазам гидрологического режима) информации о концентрации нефтяных углеводородов в речной воде возможно оценить степень диффузного загрязнения рек того или иного месторождения, применяя уравнение (2):

$$\rho = 0,42 \frac{M_3}{M_1} \left[1 - \exp\left(-40 \frac{f_3}{F}\right) \right] + a_\phi \left(1 - \frac{f_3}{F} \right) \quad (2),$$

где ρ - концентрация нефтяных углеводородов в воде, на исследуемом речном створе, мг/л

M_3 — модуль стока воды с нефтезагрязненной части водосбора, л/с км²;

f_3 — площадь участков загрязненных нефтью, км²;

F — площадь водосбора, км²;

a_ϕ — фоновая концентрация нефтяных углеводородов в речных водах территории при полном отсутствии источников загрязнения, ($a_\phi = 0,15$), мг/л

M_1 — обобщенный модуль стока воды с речного бассейна, л/с км².

Уравнение (2) было получено В.М. Калининым для условий Среднего Приобья путем анализа многолетних натуральных наблюдений на малых реках бассейна р. Большой Салым [4]. Решение обратной задачи с применением уравнения позволяет установить площадь нефтезагрязненных земель на водосборе, тем самым косвенно оценить объемы производственных потерь нефти на

месторождении. Имеются многочисленные проверки и адаптация данного уравнения на водосборах рек Западной Сибири [5], [6], [7], [8], [9], [10].

Оценивая повышение производительности труда при осуществлении гидролого-гидрохимического и гидроэкологического мониторинга на реках, отметим, что гидрометрические работы, определение глубин и скоростей течения при каждом выезде (до 7 раз в год) составляют 2-3 часа с учетом подготовительных работ, отбор пробы воды занимает 15-20 минут. Считывание данных замеров за два-три месяца автономной работы с встроенной памяти или флеш-накопителей ГРС-3 и ГРК-1 занимает не более 10 минут. Таким образом, ежегодная экономия времени составит до 1190 мин (почти 20 часов); кроме того, нет необходимости постоянной перевозки на место работ измерительного оборудования, лодок, якорей и пр. При ледоставе достаточно пробурить одну лунку для определения мощности ледяного покрова и последующего вычисления площади живого сечения, что также экономит время и силы специалистов, выполняющих мониторинговые работы.

Выводы. Одной из проблем организации экологического мониторинга на нефтяных месторождениях севера Западной Сибири является большая удаленность от мест размещения специалистов, ведущих мониторинг, большие временные разрывы в проведении гидрометрических измерений. В качестве решения данной проблемы предлагается возможность применения автоматизированных гидрологических комплексов, способных к автономной работе на протяжении нескольких месяцев.

Для вычисления распределения скоростей течения по руслу малой реки, полученных датчиком скорости автоматизированных гидрологических комплексов, наиболее эффективно использовать матрицу уравнений связи скоростей течения в различных точках русла реки и на стрежне, в месте расположения датчика скорости. Матрица уравнений, полученная при обработке пятикратного ряда наблюдений при различных фазах гидрологического режима, имеет точность не менее 92% по сравнению с фактической обстановкой.

Сопряженное использование автоматизированных гидрологических постов, гидрохимических наблюдений и уравнения (2) позволяет оперативно рассчитывать техногенную нагрузку на водные экосистемы региона, связанную с диффузными источниками нефтяного загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплекс гидрологический ГРК-1. Руководство по эксплуатации ИЛАН 416411.004РЭ. ГУ «НПО «Тайфун», 2008. 55 с.
2. Гидрологический комплекс ГРС-3 (автономный). Руководство по эксплуатации. ИЛАН 416441.001 РЭ. ГУ «НПО «Тайфун», 2008. 15 с.
3. Карасев И. Ф., Васильев А.Ф., Субботина Е.С. Гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 375 с.
4. Калинин В.М. Поступление нефтепродуктов в речную сеть от рассредоточенных источников (по материалам Среднего Приобья) // Вестник ТюмГУ. 2001. № 2. С. 11-21.
5. Добежина Н.И., Калинин В.М. Качественное состояние вод малых и средних рек Ханты-Мансийского автономного округа // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Вып. 5. Тюмень: Вектор Бук, 2003. С. 64-79.

6. Калинин В.М. Вода и нефть (гидролого-экологические проблемы Тюменского региона): монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2010. 244 с.

7. Калинин В.М., Соромотин А.В. Количественная оценка смыва нефтепродуктов с поверхности замазученных водосборов в речную сеть // Обзор «О состоянии окружающей природной среды Ханты-Мансийского округа в 1998 году. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 1999. С. 18-20.

8. Калинин В.М., Король Н.Ф. Коэффициенты самоочищения рек Тюменского региона // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Вып. 5. Тюмень: Вектор Бук, 2003. С. 89-93.

9. Калинин В.М., Беспалова Т.Л. О фоновом содержании углеводородов в природных средах нефтегазовых месторождений Тюменской области // Водное хозяйство России. 2004. № 3. Т. 6. С. 212-220.

10. Хорошавин В.Ю. Техногенная трансформация гидрологического режима и качества вод малых рек нефтегазовых месторождений в бассейне Пура. Дисс. ... канд. геогр. наук. Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, 2005. 180 с.