

УДК 628.1:622:574.5

**ОЦЕНКА МАСШТАБОВ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ  
ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ НЕФТЕПРОДУКТОВ***канд. техн. наук, доц. В.Е. САВЕНОК**(Витебский государственный технологический университет);**Е.В. ШАМАТУЛЬСКАЯ, С.А. ЧЕПЕЛОВ**(Витебский государственный университет им. П.М. Машерова)*

*Приведена оценка масштабов нефтяного загрязнения на территории Витебской области реки Западной Двины при аварийном сбросе в ее основные притоки (Дисна, Дрисса, Оболь, Улла, Ушача) нефти и нефтепродуктов, являющихся одними из главных загрязнителей поверхностных вод в Беларуси. Для проведения вычислительных экспериментов использовалась методика расчета распространения по речной сети нефтяных загрязнений. Исходными данными для расчетов были гидрологические характеристики рек-притоков Западной Двины и основные параметры различных нефтепродуктов-загрязнителей.*

**Введение.** В Республике Беларусь проблема охраны вод от загрязнения, несмотря на снижение сброса загрязняющих веществ и принимаемые меры по очистке сточных вод, остается острой. Одним из главных загрязнителей поверхностных вод в стране являются нефть и нефтепродукты [1]. Поэтому борьба с нефтяными загрязнениями водных объектов продолжает оставаться актуальной задачей для Беларуси, где значительную долю валового внутреннего продукта занимает переработка нефти, транспортировка нефти и нефтепродуктов, а также использование нефтепродуктов на многочисленных промышленных объектах.

В данной работе проведена оценка масштабов нефтяного загрязнения основных притоков реки Западной Двины, а также самой реки в пределах Витебской области при аварийных разливах нефтепродуктов, сопровождающихся их залповым сбросом в водный объект.

**Гидрологическая характеристика объекта исследования**

Западная Двина – одна из главных водных артерий Республики Беларусь. На территории Витебской области Западная Двина на всем протяжении течет по Поозерской физико-географической провинции, для которой характерно сочетание обширных лимногляциальных равнин, моренных холмов и гряд, камов и холмистых возвышенностей. Река течет по хорошо выраженной, глубоко врезанной в коренные и четвертичные породы долине, местами с обнажениями песчаников, глин и доломитов. Пойма слабо выражена [2; 3].

Объектом исследования были выбраны реки Витебской области, главные притоки реки Западной Двины: Дисна, Дрисса, Оболь, Улла, Ушача [4].

**Река Дрисса** – река в Россонском и Верхнедвинском районах Витебской области Беларуси, правый приток Западной Двины. Вытекает из озера Дрисса в пределах Нещердо-Городокской возвышенности, протекает через озёра Островцы, Синьша, Буза. Длина – 183 км. Водосбор 6420 км<sup>2</sup>, преимущественно в пределах Полоцкой низины: 5 % под озерами, 57 % под лесом. Среднегодовой расход воды в устье 45,6 м<sup>3</sup>/с. Долина трапециевидная, местами прямоугольная, шириной 0,2...0,5 км, в низовье – 1...1,5 км. Ширина поймы 0,1...0,5 км. Русло извилистое, шириной 25...45 м. Берега крутые. Замерзает в конце декабря, вскрывается в конце марта – начале апреля. На период весеннего половодья приходится 47 %, летне-осенней межени – 36 % годового стока. В половодье среднее превышение уровня над меженным от 1,7 до 7,2 м.

**Река Дисна** – левый приток Западной Двины. Вытекает из озера Диснай в Литве, основная часть течения – на территории Витебской области Беларуси, течёт на восток через Витебскую область по территории Шарковщинского, Миорского районов, впадает в Западную Двину. Длина реки – 178 км, площадь бассейна – 8180 км<sup>2</sup>, в пределах республики – 6640 км<sup>2</sup>, общее падение 39,8 м. Водосбор расположен в пределах сильно заболоченной Дисненской низменности, лишь верхняя часть его занимает среднехолмистую северо-восточную оконечность Литовско-Белорусской гряды. Средняя высота водосбора 155 м, средний уклон водной поверхности 6,1 ‰. Линия водораздела имеет сравнительно плавные очертания, проходит по Свентянским грядам и северо-восточным отрогам Литовско-Белорусской гряды, отделяя водосборы смежных рек Вилии, Березины и Ушачи. Длина водораздельной линии 535 км, коэффициент ее развития 1,67. Долина трапециевидная, ее ширина 400...600 м, местами до 1,5 км. Русло реки извилистое, неразветвленное, до устья реки Берветы шириной 20...30 м, в средней части – до 40...60 м, в низовьях – более 100 м. Берега в верховье крутые, высокие, на остальном протяжении – низкие, частично заболоченные.

**Река Оболь** – река в Витебской области Беларуси, правый приток Западной Двины. Длина 148 км. Водосбор 2690 км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды в устье 19,4 м<sup>3</sup>/с. Общее падение реки 55 м. Средний

уклон водной поверхности 0,4 ‰. Вытекает из озера Езерище около городского посёлка Езерище, течёт по Городокскому и Шумилинскому районам в границах северно-западной части Городокской возвышенности и по северно-восточной части Полоцкой низменности. Устье за 1 км юго-западнее от деревни Новые Горяны Полоцкого района. Река зарегулирована Ключегорским водохранилищем. Высший уровень половодья около г. п. Оболь в 1-й декаде апреля, средняя высота над меженью 4,6 м, наибольшая 7,3 м. Замерзает в конце 1-й декады декабря, ледоход в начале апреля. Долина преимущественно трапецевидная, шириной 300...600 м (наибольшая 2,5 км, между деревнями Малая Тешава и Коновалово Городокского района); в верховье невыразительная. Пойма двусторонняя, чередуется по берегам, местами отсутствует; ширина её к впадению реки Свина 400...800 м, ниже 100...200 м. Русло извилистое, шириной 8...20 м в верхнем течении, 20...40 м в среднем, 25...30 м в нижнем. Густота речной сети 0,42 км/км<sup>2</sup>. На период весеннего половодья приходится 49 % годового стока. В нижнем течении среднее превышение уровня над меженным 4,6 м, максимальное – 7,3 м. Водосбор 2690 км<sup>2</sup>, в основном на западных склонах Городокской возвышенности и на Полоцкой низине, 30 % под лесом. Среднегодовой расход воды в устье порядка 20 м<sup>3</sup>/с.

**Ушача** – река в Витебской области, левый приток Западной Двины. Длина – 118 км. Площадь водосбора – 1150 км<sup>2</sup>. Среднегодовой расход воды в устье – 8 м<sup>3</sup>/с. Средний уклон водной поверхности – 0,5 ‰. Река Ушача начинается на высоте 169,7 м над уровнем моря в Докшицком районе. Эта река протекает в границах Ушачско-Лепельской возвышенности и Полоцкой низменности (нижнее течение). Половодье обычно начинается в конце второй декады марта и длится до конца мая. Среднее превышение верхнего уровня воды до 1,5 м. Начинает замерзать река лишь в первой декаде февраля, ледолом начинается в начале апреля. Долина до деревни Путилково (Ушачского района) невыразительная, ниже – трапецевидная. Русло реки имеет многочисленные изгибы. В верхнем течении оно шириной 3...10 м, ниже озера Большое Исно – 30...40 м. На отдельных участках до 1 км, ниже впадения реки Альзница сужается до 30...50 м. Половодье обычно начинается в конце второй декады марта и длится до конца мая. Средняя его продолжительность около 60 сут. Среднее превышение верхнего уровня воды до 1,5 м. Начинает замерзать река лишь в первой декаде февраля, ледолом начинается в начале апреля.

**Улла** – река в Витебской области, левый приток Западной Двины. Длина – 123 км, площадь бассейна – 4090 км<sup>2</sup>, средний расход воды в устье – 25,4 м<sup>3</sup>/с. Река вытекает из Лепельского озера в Лепеле, протекает по Верхнеберезинской, Чашницкой и Полоцкой низменностям, впадая в Западную Двину у городского посёлка Улла. Ширина реки около 30 м, местами до 50 м, пойма до 100 м, в низовьях до 400 м. Общее падение реки 30,2 м. Средний уклон водной поверхности 0,4 ‰. Долина асимметричная, трапецевидная, ее ширина 300...600 м, наибольшая, до 1 км, в среднем течении, наименьшая, 100 м, в верхнем течении. Ширина поймы от 50...100 м до 600 м в среднем течении. Русло на протяжении 75 км от истока сильно извилистое, ниже по течению умеренно извилистое (ширина 30 м, местами 40...50 м). Среднее превышение наибольшего уровня во время паводка над меженью 4 м, максимальное 7,3 м. Замерзает в конце 1-й декады декабря, ледоход – в начале апреля.

#### Методика исследования

Для оценки масштабов нефтяного загрязнения основных притоков Западной Двины на территории Витебской области при аварийных разливах нефтепродуктов нами использовалась методика прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ [5]. Данная методика позволяет оперативно выполнять такие расчеты.

На первом этапе нами проводился расчет начального содержания нефтепродуктов в речной воде в зоне аварийного сброса по следующей формуле:

$$c_{cm} = \frac{0,2m}{\gamma_p \cdot Q_p \cdot \tau_z}, \quad (1)$$

где  $\gamma_p$  – доля расхода речной воды, участвующая в разбавлении сброшенных нефтепродуктов;  $Q_p$  – расход речной воды в контрольном створе, м<sup>3</sup>/с;  $\tau_z$  – время прохождения зоны высокозагрязненных вод через контрольный створ, с;  $m = \rho \cdot V$  – масса сброшенных нефтепродуктов (рассчитывается по начальному сброшенному объему  $V$  и плотности  $\rho$ ), кг.

Начальное количество нефтепродуктов в пленке  $m_0$  непосредственно ниже аварийного сброса определяют согласно [5]:

$$m_0 = 0,8m, \text{ кг.} \quad (2)$$

Предварительный прогностический расчет концентрации нефтепродуктов в заданных контрольных створах речной сети (при впадении реки-притока в Западную Двину) выполнялся по алгоритму, используемому в ситуации, когда обнаружена зона высокозагрязненных вод в начальном контрольном

створе реки-притока. Для чего, используя справочные данные средних скоростей течения рек [4], производился расчет средневзвешенных средней и максимальной поверхностных скоростей:

$$v_{cp(пов)} = \frac{v}{K_1}; \quad (3)$$

$$v_{max(пов)} = \frac{v}{K_2}, \quad (4)$$

где  $K_1$ ,  $K_2$  – переходные коэффициенты, приведены в [5, табл. 4, с. 16] (зависят от характеристики русла реки).

Морфометрические характеристики русел рек (глубина, ширина, шероховатость русла, гидравлический уклон) принимались согласно [4; 6; 7] и проводился расчет их средневзвешенных значений на рассматриваемых участках. Затем определялся коэффициент продольной дисперсии:

$$D_x = 1,81H^* \cdot v \cdot C^{-0,63} \cdot \left( \frac{B^*}{H^*} \right)^{0,49}, \quad (5)$$

где  $H^*$  и  $B^*$  – средневзвешенные значения глубины и ширины реки на участке соответственно, м;  $C$  – коэффициент Шези (определяется согласно [7] с учетом гидравлического радиуса  $R$  и коэффициента шероховатости русла реки  $n^*$ ),  $m^{0,5}/c$ ;  $v$  – средняя поверхностная скорость, м/с, определенная по формулам (3), (4).

Далее определялось максимальное и минимальное время перемещения водных масс на речном участке между местом аварийного сброса нефтепродукта и местом впадения в Двину (брались различные расстояния, км):

$$\tau_{cm(max)} = \frac{L_x}{v_{cp(пов)}}, \quad (6)$$

$$\tau_{cm(min)} = \frac{L_x}{v_{max(пов)}}. \quad (7)$$

Полученные величины и являются временем подхода (максимальным и минимальным) нефтепродукта к месту впадения реки-притока в реку Западную Двину:

Концентрация нефтепродукта в контрольном створе  $n$  определялась по формуле

$$C_{Nn} = \frac{C_N - C_{\phi(k)} \cdot (1 - \psi_{N(p)}) \cdot v \cdot \Delta \tau_0}{2(\pi D_x \tau_{Nn})^{0,5}} \cdot \exp \left[ -\frac{(L_x - v \tau_{Nn})^2}{4 D_x \tau_{Nn}} - K \tau_{Nn} \right], \quad (8)$$

где  $C_{\phi(k)} = 0$  – фоновая концентрация (принимается что в исходном состоянии водоток чист);  $K$  – коэффициент скорости самоочищения речной воды от нефтепродукта, 1/с, приведен в [5, табл. 5 – 6, с. 19];  $v$  – средняя поверхностная скорость, определенная по формулам (3), (4), м/с;  $\psi_{N(p)}$  – коэффициент, ха-

рактеризующий разбавление сточных вод,  $\psi_{N(p)} = \frac{qN}{v^2 \cdot B^* \cdot H^*}$ ;  $qN$  – расход нефтепродукта при аварийном сбросе,  $m^3/c$ .

Расчет массы нефтепродуктов, ушедшей из пленки нефти в результате процессов биохимического окисления  $m_{co}$  на участке реки от места сброса до заданного контрольного створа, выполнялся по формуле [5, с. 29]:

$$m_{co} = m_0 (1 - e^{-K_{ct} \tau_{ct}}), \quad (9)$$

где  $\tau_{ct}$  – время добегаания водных масс и пленки нефти от места аварии до заданного контрольного створа, определенное по формулам (6), (7), с;  $K$  – коэффициент скорости биохимического окисления нефтепродуктов или коэффициент самоочищения, то же, что в формуле (8).

Вычисление массы нефтепродуктов, ушедшей из нефтяной пленки в результате процессов испарения легких фракций нефтепродуктов  $m_{исп}$ , выполнялось по формуле [5, с. 29]:

$$m_{исп} = m_0 (1 - e^{-K_{исп} \tau_{исп}}), \quad (10)$$

где  $\tau_{исп} = \tau_{ct}$  – время испарения (согласно [5], так как  $\tau_{ct} < 432000$  с);  $K_{исп}$  – коэффициент испарения, 1/с.

Масса нефтепродуктов, ушедшая из пленки в воду  $m_{пл/в}$ , рассчитывалась по формуле [5, с. 29]:

$$m_{пл/в} = m_0 (1 - e^{-K_{пл/в} \tau_{ct}}), \quad (11)$$

где  $K_{пл/в}$  – коэффициент перехода из пленки в воду, 1/с.

Общая концентрация нефтепродуктов, перешедшая из воды в пленку нефти (нефтепродукта), в контрольном створе (в искомой точке) определялась следующим образом:

$$C_{в/пл} = C_{Нп} \cdot (1 - e^{-K_{в/пл} \tau_{ст}}), \quad (12)$$

где  $K_{в/пл}$  – коэффициент скорости выделения (возвращения) растворенного загрязняющего вещества из воды в пленку, с.

Вся масса нефтепродуктов, ушедшая из воды в пленку за время прохождения пятна между контрольными створами (от места аварийного сброса в реку-приток до ее впадения в реку Западную Двину), определялась следующим образом:

$$m_{в/пл} \cdot (\gamma_p \cdot Q_p \cdot \tau_{ст}), \quad (13)$$

где  $\gamma_p$  и  $Q_p$  – то же, что в формуле (1).

Окончательно, с учетом полученных результатов по формулам (9)...(13), определена общая масса пленки нефти в заданном контрольном створе (устье реки-притока):

$$m_{пл} = m_0 - m_{со} - m_{исп} - m_{пл/в} + m_{в/пл}. \quad (14)$$

Исходные данные для прогностического расчета принимались для рассматриваемых рек-притоков согласно [3; 4; 6]. Характеристики нефтепродуктов принимались согласно [7] и по справочным данным.

### Результаты и их обсуждение

В работе моделировались ситуации аварийных разливов нефтепродуктов, сопровождающиеся их залповым сбросом в водотоки, являющиеся реками-притоками реки Западной Двины на территории Витебской области. Для расчетов использовались разные виды нефтепродуктов с различными характеристиками. По результатам проведенной работы была дана прогностическая оценка нефтяного загрязнения рек-притоков: Дисна, Дрисса, Оболь, Улла, Ушача – и определены масштабы загрязнения самой реки Западной Двины при аварийных сбросах нефтепродуктов в эти реки-притоки на различных расстояниях от их устья (места впадения в Западную Двину). Начальный объем аварийного сброса нефтепродукта в водный объект был фиксированным для всех рек-притоков. В соответствии с рекомендациями [5] в качестве контрольных створов на реках-притоках выбирались створы на расстоянии примерно 1...3 суточного подхода водных масс до створов основной реки – Западной Двины. Расчеты проводились с учетом того, что никаких мер по ликвидации аварии не принималось.

На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы, показывающие массу нефтепродукта, ожидаемого в устье рек-притоков при их впадении в Западную Двину при аварийном сбросе нефтепродуктов объемом  $50 \text{ м}^3$  в реку-приток на расстоянии 25 и 50 км от устья (начальный контрольный створ).

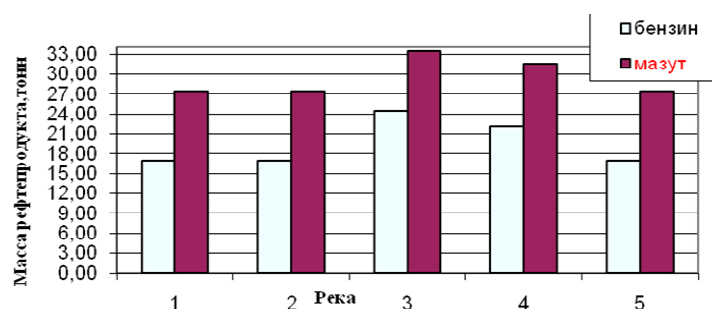


Рис. 1. Масса нефтепродукта в устье рек-притоков (сброс на расстоянии 25 км), т:  
1 – Дисна; 2 – Дрисса; 3 – Оболь; 4 – Улла; 5 – Ушача

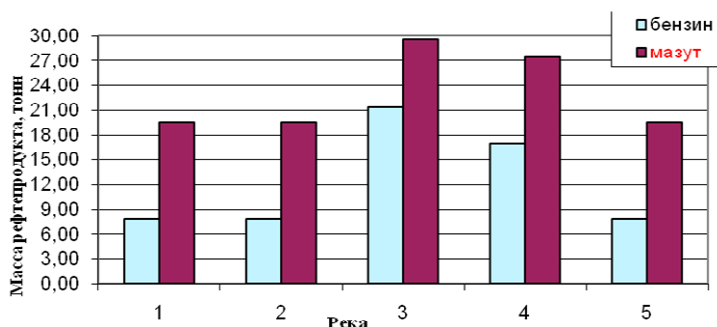


Рис. 2. Масса нефтепродукта в устье рек-притоков (сброс на расстоянии 50 км), т:  
1 – Дисна; 2 – Дрисса; 3 – Оболь; 4 – Улла; 5 – Ушача

Из диаграмм (см. рис. 1, 2) видно, что наибольшее количество нефтепродуктов от аварийного места сброса доходит до устья реки-притока Оболь, а наименьшее – до реки-притока Ушача.

Результаты проведенного расчета максимального и минимального времени подхода нефтепродукта к месту впадения реки-притока в реку Западную Двину показали, что наибольшее время подхода для рассматриваемых рек-притоков прогнозируется на реках-притоках Дисна и Дрисса: 30,2 ч при аварийном сбросе в них нефтепродукта на расстоянии 25 км от ее устья (места впадения в Западную Двину); 60,4 ч при аварийном сбросе в них нефтепродукта на расстоянии 50 км от ее устья. Наименьшее время подхода для рассматриваемых рек-притоков прогнозируется на реке Оболь: 6,9 ч при аварийном сбросе в нее нефтепродукта на расстоянии 25 км от ее устья (места впадения в Западную Двину); 13,8 ч при аварийном сбросе в нее нефтепродукта на расстоянии 50 км от ее устья.

**Закключение.** В работе проведены расчеты по определению масштабов нефтяного загрязнения рек-притоков и самой реки Западной Двины в случае аварийных нефтеразливов на них. Полученные результаты вычислительных экспериментов рекомендуется использовать для уточнения формирования и перемещения зон нефтяного загрязнения вод по речной сети как в случае состоявшейся аварии, так и потенциально возможной, прогнозируемой в районе водосбора реки Западной Двины.

Настоящие рекомендации могут быть учтены подразделениями МЧС, а также соответствующими службами организаций, занимающимися ликвидацией аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на других водных объектах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Савенок, В.Е. Использование программного обеспечения для оценки экологического риска эксплуатации нефтепроводов / В.Е. Савенок, А.Н. Стариченко // Вестн. ВГУ им. П.М. Машерова. – 2011. – Вып. 3(63). – С. 60 – 63.
2. Савенок, В.Е. Оценка территорий районов водосбора как потенциальных загрязнителей реки Западная Двина / В.Е. Савенок, О.Н. Минаева, С.А. Чепелов // Вестн. ВГУ им. П.М. Машерова. – 2012. – Вып. 5(71). – С. 40 – 44.
3. Западная Двина – Даугава. Река и время / Л.С. Аносова [и др.]; под общ. ред. В.Ф. Логинова, Г.Я. Сегалю. – Минск: Белорус. наука, 2006. – 270 с.
4. Блакітная кніга Беларусі: энцыкл. / Беларус. энцыкл.; рэдкал.: Н.А. Дзіска [і інш.]. – Мінск: БелЭн, 1994. – 415 с.
5. Усовершенствованные методы прогностических расчетов распространения по речной сети зон высокозагрязненных вод с учетом форм миграции наиболее опасных загрязняющих веществ: рекомендации Р 52.24.627-2007 / М-во природных ресурсов и экологии Рос. Федерации; Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Ростов н/Д, 2008. – 100 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.open.gost.ru>.
6. Шаматурская, Е.В. Определение гидрологических характеристик водотоков / Е.В. Шаматурская, В.Е. Савенок // Наука – образованию, производству, экономике: материалы XVIII(65) регион. науч.-практ. конф., Витебск 13 – 14 марта 2013 г. / ВГУ им. П.М. Машерова. – Витебск, 2013. Ч. 1. – С. 117 – 119.
7. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я.М. Вильнер [и др.]; под общ. ред. Б.Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Выш. шк., 1985. – 382 с.

Поступила 05.06.2013

#### ESTIMATION OF THE SCALE OF OIL POLLUTION OF WATER OBJECTS AT EMERGENCY OVERFLOW OF OIL PRODUCTS

V. SAVENOK, E. SHAMATULSKAYA, S. CHEPELOV

*Estimation of the scale of oil pollution in Western Dvina river on the territory of Vitebsk region at emergency dumping into its main tributaries (Disna, Drissa, Obol, Ulla, Ushacha) by one of the main contaminants of surface waters in the republic – oil and oil products. For carrying out experiments the method of calculation of distribution of oil contaminants on river network was used. Initial data was for calculations were hydrologic characteristics of the rivers-tributaries of Western Dvina river and the main parameters of various oil contaminants.*