

УДК 504.064

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ
ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД
В БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ¹

© 2019 г. Р. Г. Джамалов¹, *, А. А. Мироненко¹, К. Г. Мягкова¹,
О. С. Решетняк¹, Т. И. Сафронова¹

¹Институт водных проблем РАН, Россия 119333 Москва
*e-mail: roald@iwp.ru

Поступила в редакцию 27.03.2018 г.
Принята к публикации 26.04.2018 г.

Рассмотрена динамика качества воды по течению р. Северная Двина в условиях антропогенного воздействия. В целом воды реки характеризуются как “очень загрязненные”. Для различных участков рассмотрены случаи высокого и экстремально высокого уровня загрязненности воды. Среди загрязняющих веществ чаще встречаются органические вещества, соединения железа, меди, цинка. Среднегодовое количество притока отдельных загрязняющих веществ по длине реки превышает ПДК в 2–5 раз. Наряду с этим выявлена тенденция некоторого улучшения качества речных вод вниз по течению с уменьшением содержания нефтепродуктов и соединений цинка.

Ключевые слова: речной сток, химический сток, качество воды, химические вещества, загрязняющие вещества.

DOI: 10.31857/S0321-0596462149-160

ВВЕДЕНИЕ

Северная Двина – основная речная система на севере Европейской части России (ЕЧР), образуется при слиянии рек Сухоны и Юг у г. Великий Устюг. Протяженность реки – 744 км, площадь водосбора – 357 000 км². По рассматриваемой территории бассейна протекают 3354 водотока. К основным притокам Северной Двины относят реки Вычегда (правый, длина – 1130 км, площадь бассейна – 121 тыс. км²), Пинега (правый, длина – 779 км, площадь водосборного бассейна – 42 тыс. км²), Вага (левый, 575 км, 44 800 км²), Юмиж (левый, 180 км, 1825 км²) [8]. Питание реки и ее притоков преимущественно снеговое (50% стока). Продолжительность сброса значительной части стока реками во время весеннего половодья увеличивается до 35–40 дней из-за медленного таяния снегов таежной зоны и “буферных свойств” болот.

Бассейн Северной Двины состоит из трех самостоятельных бассейнов: Северодвинского и рек Сухоны и Вычегды. Устьева область

Северной Двины начинается у с. Усть-Пинега. Здесь река разделяется на несколько рукавов, причем выделить главный из них не всегда возможно. У Архангельска река образует дельту шириной 45 и длиной 37 км, состоящую из более чем 150 рукавов и протоков. Глубины рек позволяют осуществлять судоходство в период открытого русла.

На территории бассейна реки расположены 4 субъекта Российской Федерации: Архангельская, Вологодская области и Республика Коми, а также частично Кировская область (всего 3% территории бассейна).

Территория бассейна изобилует таежными лесами, что способствует интенсивному развитию лесозаготовок и отраслей по переработке лесных ресурсов.

Климат на территории бассейна умеренно-континентальный с коротким прохладным летом и продолжительной холодной зимой. Средняя годовая температура воздуха увеличивается с северо-востока на юго-запад бассейна от +0.4 до +2.3°C. Самый холодный месяц – январь, на побережьях морей – февраль. В эти месяцы средняя температура воздуха меняется от –11–12

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-17-01262).

на юго-западе до $-18-20^{\circ}\text{C}$ на северо-востоке. Средняя месячная температура самого теплого месяца лета (июль) возрастает от 4°C на севере до 17°C на юге бассейна. Однако в любой из летних месяцев возможны заморозки при вторжении арктических воздушных масс.

Территория бассейна Северной Двины находится в зоне избыточного увлажнения. Годовое количество осадков меняется с северо-востока на юго-запад от 550–600 до 750–800 мм. Основная их часть (65–70%) приходится на теплый период года. Минимум осадков на большей части территории наблюдается в феврале, максимум – в июле–августе. В отдельные годы месячные суммы осадков могут существенно меняться. В летнее время суточные максимумы (60–80 мм) формируются за счет ливневых дождей. Жидких осадков за год выпадает 50–60, твердых 25–30, смешанных (снег с дождем) 10–15% [10].

Устойчивый снежный покров образуется в октябре–ноябре и сохраняется до апреля–мая. Запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния составляет в среднем 120–180 мм. Наибольшая глубина промерзания грунтов наблюдается в феврале–марте и достигает 120–200, а в теплые зимы – 30–40 см [10].

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

Северная Двина и ее притоки относятся к рекам преимущественно снегового питания. Водный режим рек бассейна Северной Двины характеризуется высоким весенним половодьем, низкой летней меженью и летне-осенними паводками, сменяющимися зимней меженью [10]. Для анализа изменчивости характеристик стока Северной Двины выбраны гидрологические посты с наиболее полными рядами наблюдений. Разные площади водосборов по замыкающим створам позволяют установить различный отклик гидрологических характеристик на современные климатические изменения. Для среднесезонного водного режима характерно высокое весеннее половодье и низкая зимняя межень.

Статистический анализ рядов многолетних среднегодовых расходов воды за 1946–2013 гг. показал, что только для отдельных створов отмечается незначительное (до 10%) их увеличение в последние десятилетия. Это характерно для верховьев Северной Двины и бассейна Вычегды. Аналогичная динамика прослеживается в верховьях Северной Двины (р. Юг – створ Подосино-

вец, р. Сухона – створ Тотьма) и в ее низовьях (р. Северная Двина – створ Усть-Пинега).

Увеличение подземного (меженного) стока характерно для всех зимних месяцев. При этом отмечается повсеместное увеличение минимального месячного стока в феврале–марте практически для всех створов Северной Двины. Для бассейнов северных рек лимитирующий сезон – зимний. Значимый рост зимних расходов характерен примерно для половины рассмотренных створов. Диапазон этих изменений колеблется от 5% для устьевой части Северной Двины до 25% для р. Юг. Периоду зимней межени соответствует минимальный месячный расход, в бассейне Северной Двины – обычно в марте.

Анализ максимальных расходов воды весеннего половодья показывает, что каких-либо существенных тенденций в их изменениях не наблюдается [9].

В период 1962–2014 гг. для отдельных створов характерны две фазы водности: до 1990–1994 гг. – сравнительно маловодная, в последующие годы – повышенной водности. При этом климатические изменения и результат антропогенного воздействия наиболее быстро проявляются обычно на малых водосборах. Расчленение гидрографа для рек бассейна показало поверхностную и подземную составляющие стока за весь период наблюдений. Степень изменений возобновляемых ресурсов поверхностных вод (годового стока) и подземных вод (меженного и минимального месячного стока) рек водосборов Северной Двины и ее притоков свидетельствуют о том, что за последние десятилетия наиболее существенные изменения претерпевают естественные ресурсы подземных вод, особенно – минимальная их составляющая (рис. 1) [9].

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ДИНАМИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО ТЕЧЕНИЮ РЕКИ

Исходными данными послужили материалы [1] о содержании и концентрациях химических элементов и их соединений в водах р. Северная Двина и ее притоков за период 1990–2015 гг. Для оценки модуля гидрохимического стока использованы данные о расходах воды, осредненные за период 1990–2015 гг. по 11-ти гидрологическим постам в бассейне Северной Двины (табл. 1).

Основной очаг хозяйственного освоения и использования водных ресурсов бассейна Северной Двины – Архангельская агропромыш-

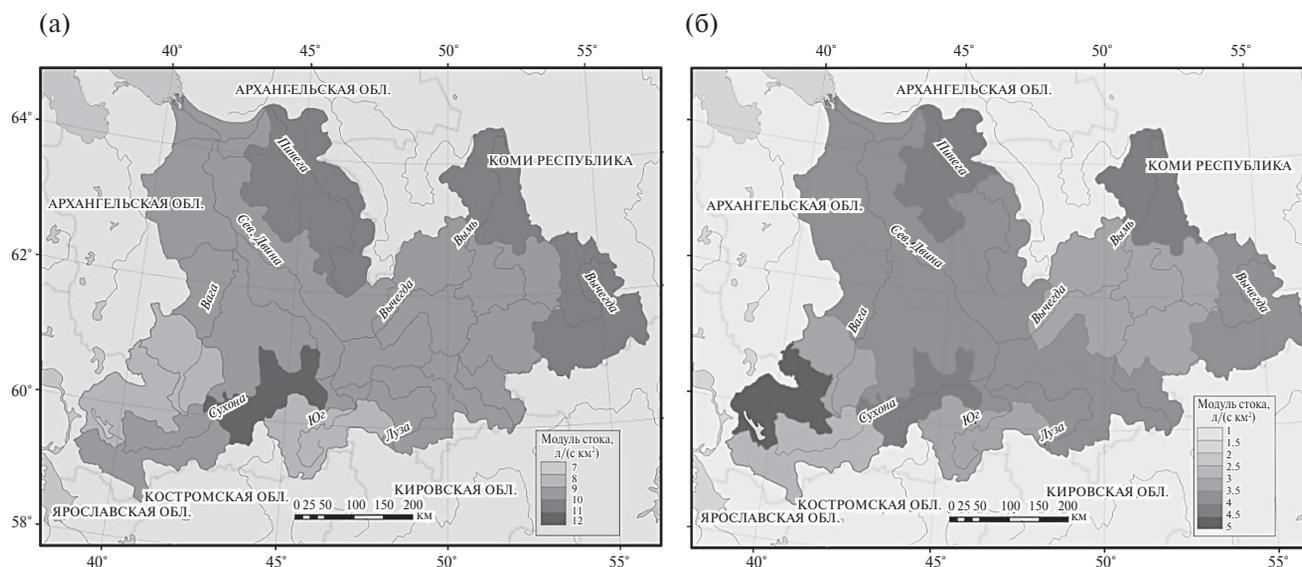


Рис. 1. Среднегодовые возобновляемые ресурсы поверхностных (а) и подземных вод (б) бассейна р. Северная Двина.

ленная агломерация, включающая в себя города Архангельск, Новодвинск, Северодвинск и прилегающие населенные пункты с комплексами предприятий и космодромом “Плесецк”. Среди основных предприятий, оказывающих значительное влияние на качество природных вод бассейна Северной Двины, следует отметить: Государственный российский центр судостроения в г. Северодвинске; Архангельская ТЭЦ, а также ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 в г. Северодвинске; Котласский, Архангельский и Соломбальский целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК); Архангельская и Северодвинская птицефабрики и др.

Бассейн Северной Двины испытывает значительную антропогенную нагрузку. Наиболее сильное негативное воздействие на водные объекты бассейна оказывают загрязняющие вещества (ЗВ), поступающие со сточными водами ЦБК. Сточные воды содержат трудноокисляемые специфические вещества (лигнин, лигносульфонаты и др.), фенолы, формальдегид, метанол и др., которые почти не удаляются на сооружениях биологической очистки. В местах сброса сточных вод ЦБК снижается количество растворенного кислорода в воде, что негативно сказывается на состоянии живых организмов водных экосистем в целом.

Таблица 1. Гидрологические посты с длинными рядами наблюдений

Река – пункт наблюдений	Площадь водосбора, км ²	Q_{cp} за 1990–2015 гг., м ³ /с [6, 7]
р. Северная Двина – д. Абрамково	220000	1957
р. Северная Двина – с. Усть-Пинега	348000	3438
р. Сухона – г. Тотьма	34800	295
р. Юг – д. Пермас	1450	13.3
р. Юг – с. Подосиновец	15200	130
р. Луза – с. Красавино	16300	176
р. Вычегда – с. Малая Кужба	26500	265
р. Сысола – пос. Первомайский	11700	115
р. Вымь – с. Весляна	19100	207
р. Пинега – д. Согры	3120	34.2
р. Пинега – с. Кулогоры	36700	380

Большая часть ЗВ поступает в воду в нижнем течении реки, здесь на долю ЦБК приходится 47% общего объема стоков. Устьевая область реки подвержена интенсивному антропогенному воздействию вследствие стока загрязнения со всего бассейна реки и высокой концентрации населенных пунктов и промпредприятий.

Помимо сосредоточенных сбросов сточных вод, большое количество ЗВ поступает в водные объекты бассейна с поверхностным ливневым и талым стоком с территорий населенных пунктов, автомобильных и железных дорог, магистральных нефте- и газопроводов, промпредприятий, сельхозпредприятий и сельхозугодий. Основные причины загрязнения бассейна Северной Двины – сбросы недостаточно очищенных сточных вод промпредприятий и коммунального хозяйства, а также аварийные ситуации (табл. 2).

Северная Двина и ее притоки – источники воды для централизованного водоснабжения городов Архангельск, Новодвинск, Коржма, Сольвычегодск, населенных пунктов Холмогорского, Приморского, Пинежского и других районов. Вода в поверхностных источниках характеризуется чрезвычайно высокой степенью загрязнения по бактериологическим показателям, высокой – по содержанию ЛООВ по БПК₅ и трудноокисляемых органических веществ, умеренной – по органолептическим и токсикологическим показателям. Это обусловлено присутствием в воде биогенных и органических компонентов – нефтепродуктов, фенолов, лигносульфонатов, метанола и других соединений и проявляется в увеличении частоты заболеваемости населения [6].

В настоящее время способность реки к самоочищению недостаточна, чтобы трансформировать массы поступающих ЗВ. В результате отмечается антропогенная трансформация речных экосистем и компонентного состава водной среды, проявляющаяся, в первую очередь, в изменении ионного состава воды – увеличении содержания хлоридов, сульфатов, ВВ, в нарушении режима биогенных элементов и накоплении ряда токсичных ЗВ.

В период 2000–2010 гг. зафиксированы случаи возникновения высокого (ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) воды на различных участках реки (табл. 3). Однако случаи ЭВЗ фиксировались редко: 1 раз у г. Великий Устюг – при снижении содержания растворенного в воде кислорода до аномально низких значений, по 2 раза – у с. Усть-Пинега при аномально высоких концентрациях метанола, у городов Новодвинска и Архангельска – при аномально высоких концентрациях ртути и фенолов.

Химический состав и качество речных вод – важнейшие характеристики водного объекта, которые позволяют обосновать степень соответствия воды требованиям конкретных водопользователей, выявить источники загрязнения и уровень загрязненности воды, определить обеспеченность водной среды питательными веществами для сохранения и развития водной биоты и т.п.

Для исследования динамики качества воды по течению Северной Двины рассмотрена изменчивость степени загрязненности воды на различных участках реки по пятилетним перио-

Таблица 2. Основные ЗВ в р. Северная Двина (ЛООВ – легкоокисляемые органические вещества, ВВ – взвешенные вещества, СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества)

Пункт наблюдений	Основные ЗВ
г. Великий Устюг	ЛООВ по БПК ₅ , азот аммонийный, ВВ, хлориды, СПАВ, сульфаты, фенолы, нефтепродукты
г. Красавино	ЛООВ по БПК ₅ , ВВ, хлориды, сульфаты, СПАВ
г. Котлас	ЛООВ по БПК ₅ , трудноокисляемые органические вещества, ВВ, соединения азота, нефтепродукты, хлориды
д. Абрамково, д. Звоз, с. Усть-Пинега	Данные по сбросу ЗВ отсутствуют
г. Новодвинск	ЛООВ по БПК ₅ , ВВ, азотсодержащие соединения, фенолы, нефтепродукты, СПАВ, метанол, скипидар, лигнин, формальдегид
г. Архангельск	ЛООВ по БПК ₅ , ВВ, хлориды, сульфаты, азот аммонийный, СПАВ, фенолы, нефтепродукты

Таблица 3. Изменение уровня загрязнения воды по длине р. Северная Двина в 2000–2010 гг.

Пункт наблюдений	Повторяемость (число случаев)	Характеристика высокого загрязнения / ЗВ
г. Великий Устюг	10	Снижение концентрации растворенного в воде кислорода, очень высокие концентрации азота нитритного, соединений свинца
г. Красавино	10	Снижение концентрации растворенного в воде кислорода, очень высокие концентрации азота нитритного
г. Котлас	2	Снижение концентрации растворенного в воде кислорода, очень высокие концентрации соединений свинца
д. Телегово	3	Очень высокие концентрации соединений железа, соединений меди
с. Усть-Пинега	8	Снижение концентрации растворенного в воде кислорода
г. Новодвинск	11	Снижение концентрации растворенного в воде кислорода, очень высокие концентрации метанола, нефтепродуктов
г. Архангельск	6	Снижение концентрации растворенного в воде кислорода, очень высокие концентрации метанола, лигносульфонатов, трудноокисляемых органических веществ (по ХПК)

дам. Оценка качества воды выполнена согласно принятой в системе Росгидромета комплексной методике с использованием интегрального показателя УКИЗВ – удельного комплексного индекса загрязнения воды [7]. Пункты наблюдений за показателями качества воды сгруппированы в пределах ландшафтно-климатических зон бассейна реки, соответствующих верхнему, среднему и нижнему течению реки. Результаты обобщения данных позволили охарактеризовать степень загрязненности речной воды в пунктах наблюдений (табл. 4).

Анализ изменчивости степени загрязненности воды по течению Северной Двины показал следующее:

– наиболее загрязнено верхнее течение реки;
 – отмечается тенденция улучшения качества воды во времени по всем пунктам, кроме г. Красавино и д. Телегово, испытывающих влияние городов и населенных пунктов, расположенных выше по течению;

– чаще всего речная вода характеризуется как “очень загрязненная”, что соответствует 3-му классу качества, разряд “б”.

Рассмотрена изменчивость компонентного состава воды по течению р. Северная Двина в 2000–2015 гг. (табл. 5).

Таблица 4. Изменчивость степени загрязненности воды по течению р. Северной Двина

Пункт наблюдений (расстояние от устья, км)	Степень загрязненности воды по годам				
	1990–1994 гг.	1995–1999 гг.	2000–2004 гг.	2005–2009 гг.	2010–2015 гг.
Верхнее течение					
г. Великий Устюг (742)	Грязная	Грязная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная
г. Красавино (715)	Грязная – очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Грязная – очень загрязненная	Грязная
г. Котлас (675)	Грязная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная – грязная

Таблица 4. Окончание

Пункт наблюдений (расстояние от устья, км)	Степень загрязненности воды по годам				
	1990–1994 гг.	1995–1999 гг.	2000–2004 гг.	2005–2009 гг.	2010–2015 гг.
Среднее течение					
д. Телегово (668)	Грязная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Грязная	Грязная
д. Абрамково (528)	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная
д. Звоз (276)	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Загрязненная – очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная
Нижнее течение					
с. Усть-Пинега (137)	Грязная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная
г. Новодвинск (61)	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная – грязная	Очень загрязненная
г. Архангельск (39)	Грязная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная	Очень загрязненная

Анализ представленных данных показал тенденцию сохранения по всему течению высоких концентраций отдельных ЗВ, максимальная концентрация которых кратна превышает ПДК:

– соединения меди – от 9.9 (д. Звоз) до 48.0 ПДК (д. Телегово);

– фенолы – от 2.0 (д. Телегово) до 59.0 ПДК (г. Архангельск (случай ЭВЗ));

– соединения железа – от 6.9 (д. Абрамково) до 30.0 ПДК (д. Телегово);

– нефтепродукты – от 2.2 (г. Красавино) до 18.0 ПДК (д. Телегово).

Накопление в воде нитритного азота до 8.6–16.0 ПДК отмечено на участке от г. Великий Устюг до г. Красавино. Обращает на себя внимание факт, что верхние границы модальных интервалов значений концентраций соединений железа превышают ПДК в 5.2–8.1 раз на всех участках реки. Это может быть обусловлено повышенным природным фоновым содержанием железа в пределах водосборной территории. Повышенное содержание в воде соединений меди (по наиболее часто встречаемым значениям концентраций) обнаружено в верхнем течении Северной Двины на участке от г. Великий Устюг (9.0 ПДК) – д. Телегино (10 ПДК) с последующим снижением к устью реки (до 2.0–3.0 ПДК).

По остальным веществам значения концентраций не превышают ПДК на всех участках реки, за исключением участка реки у г. Архангельска, где она составляет 2.0–4.0 ПДК (нефтепродукты, органические вещества и соединения цинка) (табл. 5).

От истока к устью Северной Двины в целом наблюдается постепенное увеличение общей минерализации речных вод (рис. 2). Эту закономерность нарушает повышенный модуль выноса главных ионов в бассейне р. Выми. Здесь модуль суммарного выноса солей составляет ~116 т/год с км². Минимальный модуль зафиксирован в бассейне р. Сысолы – 19.4 т/год с км². В бассейне Северной Двины экстремальные значения модуля выноса суммы главных ионов связаны прежде всего с повышенной (340 мг/л) и сравнительно низкой (92.5 мг/л) минерализацией речных вод. Средняя минерализация в бассейне Северной Двины составляет 203 мг/л.

Повышенная минерализация речных вод обусловлена прежде всего вкладом основных анионов – сульфатов и гидрокарбонатов (рис. 3). Максимальный модуль выноса сульфатов происходит с водосбора р. Выми, ~50 кг/год с км², что составляет ~43% общей суммы ионов в речных водах в замыкающем створе этого притока Северной Двины. Это свидетельствует о загрязнении

Таблица 5. Изменчивость компонентного состава воды по длине р. Северная Двина (2000–2014 гг.) (числитель – общий диапазон, знаменатель – модальный интервал)

Пункт наблюдений (расстояние от устья, км)	Диапазон колебания концентраций, доли ПДК									
	железо	соединения меди	цинк	никель	ЛООВ (по БПК ₅)	нефтепродукты	N (NH ₄ ⁺)	N (NO ₃ ⁻)	фенолы	
Верхнее течение										
г. Великий Устюг (742)	0.4–11.0	0.9–21.0	0.2–2.9	0.3–2.7	0.1–2.5	<0.6–6.6	0.03–2.70	<0.05–16.0	<1.0–9.0	
	0.4–7.0	0.9–9.0	0.8–2.0	0.3–1.5	0.1–1.5	<0.6–0.8	0.03–0.79	<0.05–0.90	<1.0–3.0	
г. Красавино (715)	0.3–9.0	0.8–21.0	0.2–2.4	0.4–3.0	0.2–2.7	<0.6–2.2	0.03–2.40	<0.05–8.60	<1.0–8.0	
	0.3–5.8	0.8–9.0	0.2–1.9	0.4–1.5	0.2–1.6	Все 0.6	0.03–0.79	<0.05–0.90	<1.0–2.0	
г. Котлас (675)	0.3–16.0	<0.5–17.0	0.9–6.2	<0.3–0.8	0.3–3.0	<0.6–6.2	<0.01–0.92	<0.05–0.55	<1.0–2.0	
	0.3–5.2	<0.5–7.0	0.9–4.3	0.2–0.44	0.3–1.3	<0.6–1.2	<0.01–0.31	<0.05–0.10	<1.0–2.0	
Среднее течение										
д. Телегово (668)	1.4–30.0	1.0–48.0	1.1–8.6	Мало данных	0.3–2.2	<0.6–18.0	<0.01–1.50	<0.05–0.45	Мало данных	
	1.4–8.1	1.0–10.0	1.1–6.0		0.1–1.6	<0.6–3.0	<0.01–0.28	<0.05–0.10		
д. Абрамково (528)	0.3–6.9	<0.5–22.0	0.7–7.2	Нет данных	0.1–2.9	<0.6–11.0	<0.01–0.95	<0.05–0.55	Нет данных	
	4.2–5.9	<0.5–3.0	0.7–4.7		0.9–2.1	<0.6–1.6	<0.01–0.25	<0.05–0.10		
д. Звоз (276)	0.8–12.0	<0.5–9.9	1.5–6.8	Нет данных	0.3–2.4	<0.6–4.4	<0.01–1.40	<0.05–0.55	Нет данных	
	0.8–6.8	<0.5–3.0	1.5–3.6		0.3–1.1	<0.6–1.0	<0.01–0.25	<0.05–0.10		
Нижнее течение										
с. Усть-Пинега (137)	<0.1–7.7	<0.5–13.0	0.2–7.8	<0.3–0.8	0.1–2.1	<0.6–14.0	<0.01–0.95	<0.05–0.25	<1.0–0.0	
	<0.1–5.4	<0.5–3.0	0.2–2.2	<0.3–0.5	0.1–0.9	<0.6–1.0	<0.01–0.25	<0.05–0.10	<1.0–2.0	
г. Новодвинск (61)	<0.1–10.0	<0.5–14.0	0.5–4.3	<0.3–0.9	0.1–2.5	<0.6–3.6	<0.01–0.72	<0.05–0.55	<1.0–0.0	
	<0.1–6.9	<0.5–2.0	0.5–2.1	<0.3–0.5	0.1–0.9	Все 0.60	<0.01–0.18	<0.05–0.10	<1.0–2.0	
г. Архангельск (39)	<0.1–15.0	<0.5–16.0	0.1–6.2	<0.3–1.3	0.1–3.3	<0.6–6.4	<0.01–0.72	<0.05–0.40	<1.0–9.0	
	<0.1–6.6	<0.5–2.0	0.1–2.4	<0.3–0.4	0.5–0.8	<0.6–0.8	<0.01–0.31	<0.05–0.10	<1.0–8.0	

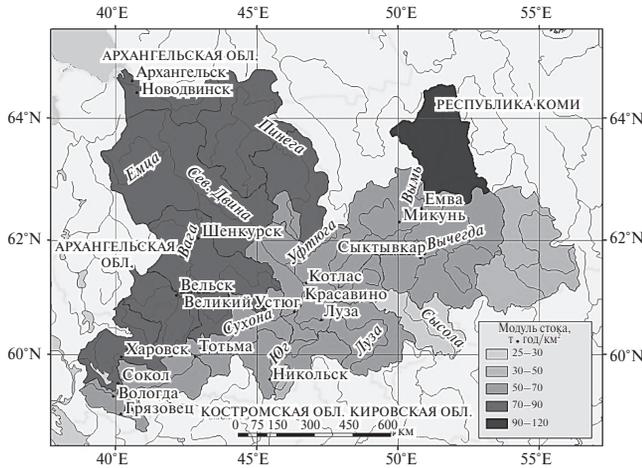


Рис. 2. Распределение минерализации речных вод в бассейне р. Северная Двина.

вод сульфатами как ведущего компонента сточных вод промпредприятий. Превышение ПДК по максимальной концентрации сульфатов в водах бассейна Северной Двины наблюдается в интервале 1–4. Минимальный вынос сульфатов установлен на реках Сысола и Пинега и составляет

1.7 и 2.9 кг/год с 1 км² соответственно. Кроме того, выделяется обширный участок с модулями выноса сульфатов 8.5–10.5 кг/год с 1 км², охватывающий бассейны Вычегды, Лузы и среднее течение Сухоны. В нижнем течении Северной Двины количество выносимых за год сульфатов достигает 15.5, а в бассейне Пинеги – 20.5 кг/год с 1 км². Содержание гидрокарбонатов в речных водах Северной Двины колеблется от 60 мг/л на р. Сысола до 142 мг/л в бассейне р. Ваги. В связи с этим диапазон величин модуля их выноса составляет 15–40 кг/год с 1 км².

Пространственное распределение величин модуля выноса хлоридов во многом совпадает с распределением сульфатов по территории бассейна (рис. 3). Прослеживается повышенное содержание хлоридов (2.0–2.5 кг год/км²) в речной воде левых притоков Северной Двины – реках Емца, Вага, а также в верховьях р. Сухоны. Это обусловлено тем, что хлориды также служат одним из показателей степени загрязнения речных вод стоками различных производств, прежде всего ЦБК. Среднее содержание хлоридов в речных водах Северной Двины колеблется от 2–2.5 мг/л (реки

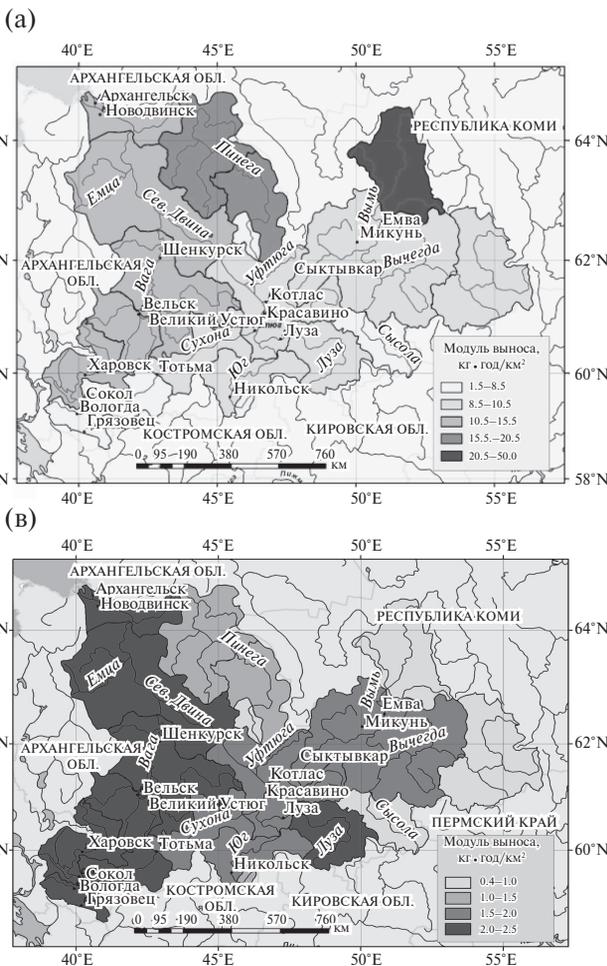


Рис. 3. Распределение сульфатов (а), гидрокарбонатов (б) и хлоридов (в) в речных водах в бассейне р. Северная Двина.

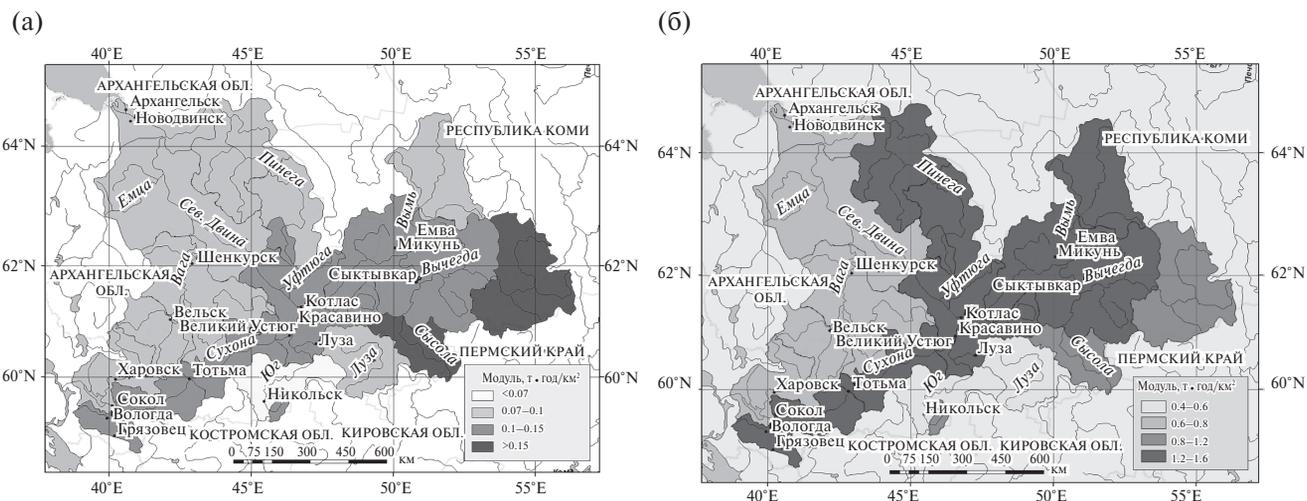


Рис. 4. Распределение общего железа (а) и соединений меди (б) в бассейне р. Северная Двина.

Пинега, Сысола и Вычегда) до 10.4 мг/л (р. Северная Двина) с максимальными значениями до 300 мг/л. По аналогии с сульфатами превышение ПДК по максимальным концентрациям хлоридов в речных водах составляет в отдельных случаях 1–1.5, что может быть связано с аварийными или залповыми выбросами сточных вод в реки. Наименьшие показатели модуля выноса хлоридов в бассейне Северной Двины – 0.4–1.0 кг/год с 1 км² – характерны в основном для верховьев рек Вымь, Вычегда и Сысола.

Качество воды обусловлено высоким содержанием ряда ЗВ, концентрации которых часто превышают ПДК в несколько раз. Среди ЗВ на различных участках реки в >50% случаев выделяются соединения железа, меди (рис. 4), цинка, ХПК с превышением ПДК, эпизодически фенолы, а в последние годы – соединения марганца и алюминия [4].

В ходе данного исследования получена достаточно пестрая картина распределения аммония в бассейне Северной Двины (рис. 5). Оказалось, что NH₄ имеет повышенную концентрацию в верхнем течении рек, что, возможно, указывает на загрязнение данного участка реки бытовыми стоками. Кроме того, наиболее сложная обстановка по содержанию соединений азота сложилась в верхнем течении Сухоны и Лузы.

В целом, за многолетний период по бассейну реки содержание органических веществ высокое и меняется от 0.10 до 64.0 мг/л для ЛООВ. Содержание нефтепродуктов в речных водах бассейна колеблется от нулевых значений и ниже предела обнаружения до 1.80 мг/л.

Практически для всех изучаемых рек или их участков в бассейне Северной Двины наблюдается превышение ПДК по легко- и трудно-

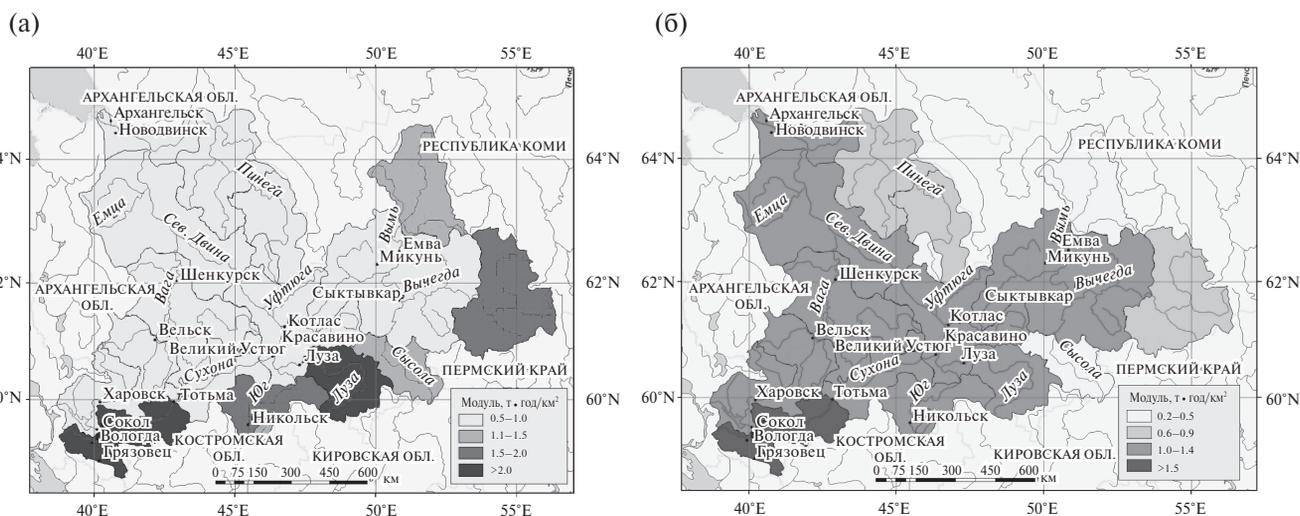


Рис. 5. Распределение аммонийного (а) и нитратного (б) азота в бассейне р. Северная Двина.

окисляемым органическим веществам, а по нефтепродуктам в поверхностных водах бассейна превышение фиксируется только по максимальным концентрациям (рис. 6).

МИГРАЦИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ТЕЧЕНИЮ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

Со сточными водами на отдельные участки реки поступают различные химические вещества. Наиболее распространенные ЗВ – нефтепродукты, ВВ, сульфаты, хлориды, фенолы, ЛООВ по БПК₅, лигносульфонаты, соединения железа, меди, алюминия, в отдельных случаях – аммонийный и нитритный азот, формальдегид, метанол. Многие из этих веществ мигрируют вниз по течению реки, поэтому наибольший приток растворенных химических ЗВ наблюдается в нижнем участке реки. В устьевую область поступают фенолы, лигносульфонаты, соединения меди и цинка в количествах, превышающих норму как по максимальным, так и по средне-многолетним значениям.

Оценка переноса ЗВ по длине Северной Двины проведена на основе расчета объемов их притока. Для этого использована многолетняя режимная гидрологическая и гидрохимическая информация Государственной системы наблюдений (ГСН) за состоянием и загрязнением поверхностных вод за период с 2000 по 2015 г. При расчете притока растворенных химических веществ, в том числе ЗВ, учитывался годовой водный сток в пункте наблюдений.

В среднем за год и за период 2000–2015 гг. в притоке ЗВ есть тенденция увеличения максимальных концентраций соединений железа вниз

по течению реки и уменьшения – нефтепродуктов и соединений цинка на участке от д. Абрамково (528 км от устья) до ст. Усть-Пинега (137 км от устья) (табл. 6).

Для оценки характера и масштабов загрязнения воды при транспорте ЗВ по течению реки проведено сравнение средних за исследуемый период и максимальных годовых величин притока ЗВ с допустимыми по ПДК. Объем притока вещества, допустимый по ПДК, рассчитывался аналогичным способом (умножением годового водного стока в конкретном пункте наблюдений на ПДК по конкретному химическому веществу).

Сравнительная оценка среднеемноголетних за исследуемый период объемов притока отдельных ЗВ с допустимыми по ПДК объемами притока показала, что кратность превышения допустимых объемов по соединениям меди, железа и цинка на исследуемых участках реки не превышает 2–5 раз (табл. 6). При этом по нефтепродуктам и соединениям нитритного азота среднеемноголетние объемы притока на отдельные участки реки ниже допустимых по ПДК.

Таким образом, вероятен перенос именно тех ЗВ, которые поступают в русло реки в наибольших количествах и менее подвержены трансформации в экосистеме. К таковым можно отнести соединения тяжелых металлов, которые в условиях холодного климата в бассейне Северной Двины будут транспортироваться водным потоком.

При оценке распределения УКИЗВ в бассейне Северной Двины обнаружены существенные изменения качества вод за последние годы. Причем, эти изменения имеют положительную динамику. Так, за период 1990–1999 гг. зафиксировано

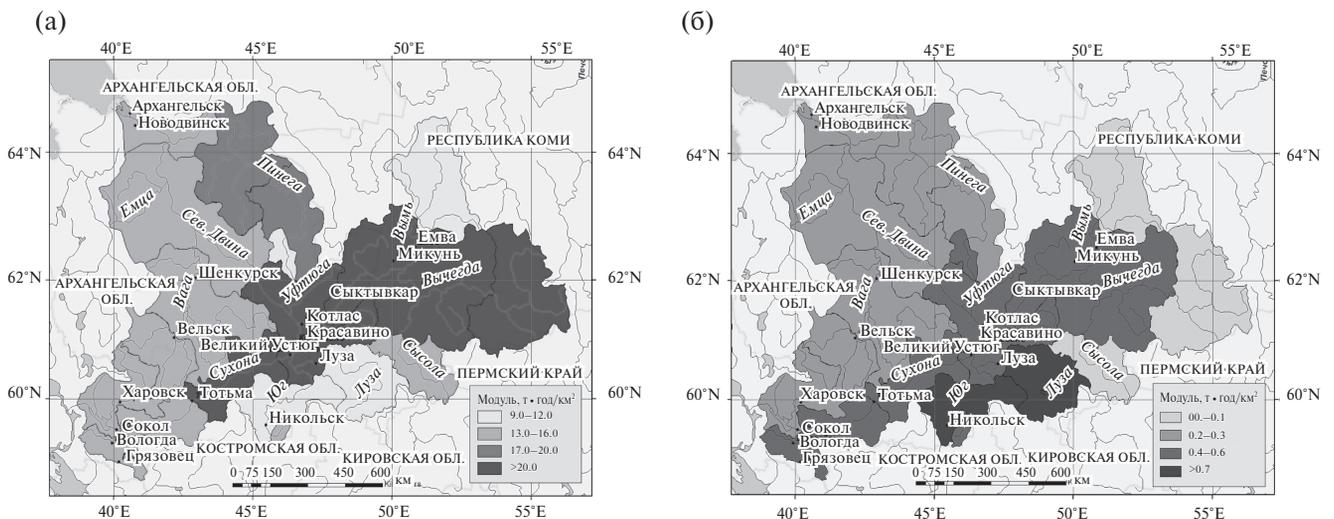


Рис. 6. Распределение БПК₅ (а) и нефтепродуктов (б) в бассейне р. Северная Двина.

Таблица 6. Изменчивость среднегодовых и среднеголетних объемов притока (тыс. т в год) ЗВ по течению р. Северная Двина в 2000–2014 гг. (числитель – среднеголетний объем притока за 2000–2014 гг., знаменатель – допустимый по ПДК объем притока)

Ингредиент	Пункты режимных наблюдений, расстояние от устья	Показатель		
		диапазон среднегодового притока	среднеголетний приток	кратность превышения ПДК
Соединения меди	д. Абрамково, 528 км	0.102–0.451	<u>0.182</u> 0.064	2.8
	д. Звоз, 276 км	0.099–0.190	<u>0.143</u> 0.082	1.7
	с. Усть-Пинега, 137 км	0.162–0.395	<u>0.215</u> 0.105	2.0
Соединения железа	д. Абрамково, 528 км	20.7–36.2	<u>27.8</u> 6.35	4.4
	д. Звоз, 276 км	27.0–49.7	<u>40.0</u> 8.21	4.9
	с. Усть-Пинега, 137 км	25.8–53.1	<u>39.8</u> 10.5	3.8
Соединения цинка	д. Абрамково, 528 км	1.01–4.25	<u>2.10</u> 0.635	3.3
	д. Звоз, 276 км	1.86–3.52	<u>2.70</u> 0.821	3.3
	с. Усть-Пинега, 137 км	0.958–2.53	<u>1.71</u> 1.05	1.6
Нефтепродукты	д. Абрамково, 528 км	0.318–12.7	<u>3.20</u> 3.17	1.0
	д. Звоз, 276 км	0.341–9.21	<u>2.31</u> 4.10	0.6
	с. Усть-Пинега, 137 км	0.532–4.26	<u>2.31</u> 5.25	0.4
Азот нитритный	д. Абрамково, 528 км	0.064–0.191	<u>0.114</u> 1.27	0.09
	д. Звоз, 276 км	0.052–0.272	<u>0.136</u> 1.64	0.08
	с. Усть-Пинега, 137 км	0.058–0.224	<u>0.126</u> 2.10	0.06

наличие грязной речной воды в верховьях рек Сухона и Вымь, соответствующей четвертому классу качества с разрядом “в”. Напротив, анализ распределения значений УКИЗВ за 2006–2015 гг. показал, что вода более высоких классов качества – загрязненная – в верховьях р. Выми и очень загрязненная – в верховьях р. Сухоны. Повысился класс качества воды и в других частях бассейна Северной Двины: если за период 1990–1999 гг. загрязненная речная вода наблюдалась только в верховьях р. Сысолы (на других частных водосборах она характеризовалась как очень загрязненная или грязная), то в период 2006–2015 гг. вода такого класса наблюдается и на реках Луза, Юг, Вымь, а также в верховьях Вычегды.

ВЫВОДЫ

Выполненный анализ миграции химических соединений и ЗВ по течению Северной Двины показал следующее.

Качество речной воды по стволу реки практически не меняется, вода характеризуется как очень загрязненная 3-го класса качества разряда “б”. В целом установлена тенденция улучшения качества воды во времени на различных участках реки. Вместе с тем выделяется как наиболее загрязненное верхнее течение, где периодически качество воды характеризуется 4-м классом (грязная).

Характерные ЗВ для различных участков реки – соединения железа, меди, цинка, трудно-

окисляемые органические вещества, эпизодически фенолы, а в последние годы — соединения марганца и алюминия.

Наибольшими превышениями ПДК отличаются соединения железа и меди. Высокие концентрации соединений железа (5.2–8.1 ПДК) на всех участках реки связаны с их повышенным природным фоном на водосборной территории. Повышенное содержание соединений меди характерно для верхнего течения реки (7.0–10.0 ПДК) с последующим снижением к ее устью (до 2.0–3.0 ПДК).

Установлена тенденция увеличения вниз по течению максимальных среднегодовых и среднесуточных объемов притока соединений железа наряду с постепенным уменьшением объемов притока нефтепродуктов и соединений цинка. Сравнение объемов притока отдельных ЗВ с допустимыми по ПДК показало, что наибольшей кратностью превышений характеризуются соединения меди, железа и цинка — в 2–5 раз.

Экологические и экономические последствия загрязнения реки связаны с ухудшением здоровья населения и с деградацией биоты (снижение продуктивности гидробиоценозов). В связи с этим полученные результаты имеют большую практическую значимость и могут быть использованы при разработке экологически обоснованных мероприятий по улучшению качества речной воды в бассейне Северной Двины и при решении широкого круга задач рационального природопользования и охраны водных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брызгалов В.А., Соколова Л.П., Косменко Л.С., Иванов В.В. Гидролого-экологическое состояние Северной Двины в условиях антропогенного воздействия // Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2004. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. С. 339–361.
2. Ильина Л.Л., Грахов А.Н. Реки Севера. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 127 с.
3. Качество поверхностных вод Российской Федерации (за 2000–2014 гг.). М.: Метеоагентство Росгидромета; Ростов-на-Дону: ГХИ, 2001–2015.
4. Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 195 с.
5. Никаноров А.М., Соколова Л.П., Решетняк О.С., Кондакова М.Ю., Даниленко А.О. Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Северная Двина // Метеорология и гидрология. № 4. 2010. С. 75–84.
6. Проблемы охраны водного бассейна реки Северная Двина // <http://pandia.ru/text/77/442/74459.php> (дата обращения: 10.02.2017).
7. РД 52.24.508-96. Методические указания. Организация и функционирование подсистемы мониторинга состояния трансграничных поверхностных вод суши. СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. 44 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Северный край / Под ред. Жила И.М., Алюшинской Н.М. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 663 с.
9. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: формирование, распределение, использование / Под ред. Джамалова Р.Г., Фроловой Н.Л. М.: ГЕОС, 2015. 320 с.
10. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Северная Двина. М.: Московско-Окское БУ, 2010. 348 с.

Space–Time Analysis of the Hydrochemical Composition and Pollution of Water in the Northern Dvina Basin

R.G. Dzhamalov^{1,*}, A. A. Mironenko¹, K. G. Myagkova¹, O. S. Reshetnyak¹, T. I. Safronova¹

¹Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences Moscow 119333 Russia

*e-mail: roald@iwp.ru

Received 27.03.2018

Accepted 26.04.2018

The dynamics of water quality along the Northern Dvina River is considered within the context of anthropogenic impact. In general, the waters of the river are characterized as very polluted. Cases of high and extremely high levels of water pollution in various locations have been considered. Organic substances, iron compounds, copper, and zinc are relatively common pollutants. Long-term average volumes of inflow of certain pollutants along the length of the river exceed the maximum permissible concentration by 2 to 5 times. A tendency toward slightly improved water quality downstream with decreasing amounts of petroleum products and zinc compounds was revealed also.

Keywords: river runoff, chemical runoff, water quality, chemicals, pollutants.

DOI: 10.31857/S0321-0596462149-160