

УДК 502.656

*К.Г. БОГОЛИЦЫН, О.В. БОГДАНЧИКОВА, В.А. ФОКИНА, В.С. КУЗНЕЦОВ,
Л.Ф. МЕШЕРКИНА, М.В. ЛИФШИЦ*

Боголицын Константин Григорьевич родился в 1949 г., окончил в 1971 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической и коллоидной химии Архангельского государственного технического университета, директор Института химии и химической технологии древесины при АГТУ, член-корреспондент Академии инженерных наук РФ и Российской инженерной академии. Имеет более 200 научных трудов в области разработки и физико-химических основ процессов переработки древесины.



ЭКОЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ (ДЕЛЬТА р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА)*

Проведена оценка современного состояния водной среды в районе водозабора г. Архангельска. В ходе анализа динамики изменения гидрологических и гидрохимических показателей воды выявлены основные приемы оценки техногенного воздействия промышленных предприятий на водную экосистему.

Study of the modern state of water has been carried out in the area of water intake of Arkhangelsk. When analysing the dynamics of changes of hydrological and hydrochemical water properties, the main procedures have been revealed to assess the technogenic influence of industrial enterprises on the water ecosystem.

Выступая в роли особо важного природного компонента, стимулирующего полную цепную реакцию биологических процессов, вода представляет собой фундаментальный ресурс для поддержания жизни на Земле и является единственным возобновляемым природным ресурсом, поддающимся повторному использованию после переработки. Одновременно с быстрым индустриальным ростом изменяются и общие перспективы для этого ресурса. В эру технологического развития, роста городов и промышленно-

* Работа выполнена по региональной научно-технической программе «Система функционирования химико-лесного комплекса Европейского Севера России в условиях рыночной экономики на период 1994–2000 гг.».

сти этот природный ресурс рассматривают не только как «социально-необходимый» элемент, но и как «экономический инструментальный» реализуемой региональной экологической политики, стратегической задачей которой является достижение принципа равновесного или сбалансированного природопользования, применения прогрессивных природно-ресурсных и энергосберегающих технологий, не истощающих и не загрязняющих окружающую среду. Эта концепция может стать составной частью стратегии перехода на модель устойчивого развития. При этом обязательно должны быть отражены не только климатические, географические, социально-экономические и экологические особенности региона, но и его место и роль в жизни страны.

Возможность использования природных водных объектов в качестве источника водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий оценивается, прежде всего, с позиций их экологического состояния, определяемого наличием в воде компонентов как природного, так и техногенного происхождения. Последние, различаясь по своему содержанию и свойствам, обуславливают качественные характеристики воды и, как следствие, определяют технологические решения ее очистки и получения воды с широким спектром потребительских свойств.

Европейский Север и, в частности, Архангельская область являются регионом, где наличие значительных природных ресурсов привело к концентрации предприятий добывающей промышленности и химико-лесного комплекса.

В связи с этим особенностью гидрохимического состава р. Северная Двина – основного источника водоснабжения населения Архангельской области, является ее большая минерализация, повышенное содержание органических компонентов (фенолов, лигнинных веществ, таннидов и др.) и биогенных веществ. Негативное влияние данных компонентов проявляется в увеличении частоты заболеваемости и особенности структуры патологии у населения. Установлено, что в регионе преимущественно поражаются желудочно-кишечная и мочевыводящая системы. Варианты поражения носят явно иммунозависимый характер, преимущественно аутоиммунный. Уровень нарушений иммунитета среди лиц, использующих воду из р. Северная Двина, выше, чем у жителей, употребляющих воду из подземных источников (47 и 24 %). Регистрируется более высокая частота эндокринных нарушений (37 и 19 %), выше показатели по карценоэмбриональному антигену. Из водопроводной воды выделены субстанции с иммунодепрессивными свойствами, подавляющие в эксперименте активность бласттрансформации лимфоцитов и фагоцитарную способность нейтрофильных лейкоцитов, моноцитов. Иммунодепрессивные компоненты воды не осаждаются обычно используемыми коагулянтами и проходят через применяемые для очистки воды фильтры, но осаждаются в процессе электрокоагуляции. Опасность нахождения подобных субстанций в воде усугубляется неизвестностью их влияния на иммунную систему, способностью их длительной миграции в воде и накоплением на объектах очистки воды.

К факторам, определяющим экологическое состояние природного водоисточника, относятся гидро-логические (расход воды, уровень воды) и гидрохимические. С этих позиций дадим эколого-аналитическую оценку состояния основного водоисточника г. Архангельска – р. Северная Двина.

Дельта Северной Двины начинается у Архангельска и напоминает полураскрытый веер (рис.1). Слева (по направлению стока) она ограничена Никольским рукавом и примыкающей к нему системой мелких протоков (Шириха, Малкурья и др.), справа – верхней частью Корабельного рукава, а затем протокой Кузнечиха, низовой частью Маймаксы и Корабельным устьем. Морской край дельты проходит по цепи низменных островов (Ягры, Гремиха, Кумбыш, Голец, Лебедин, Разбойник) или, точнее, кошек, обсохших песчаных кос и мелей у этих островов (Яндома, Сельдяная).

Основные потребители свежей воды (по данным 1996 г.) из водотоков бассейна р. Северная Двина – предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (АЦБК – 223,73 млн м³, КЦБК – 224,4 млн. м³), энергетики (Архангельская ТЭЦ – 99,07 млн м³, Северодвинская ТЭЦ-1 – 33,41 млн м³) и коммунального хозяйства (МП «Архангельский водоканал» – 60,08 млн м³).

Основное техногенное воздействие на экологическое состояние водной среды в районе г. Архангельска определяется хозяйственной деятельностью целлюлозно-бумажных комбинатов, нефтебазы, судоремонтных предприятий, предприятий коммунального и сельского хозяйства. Объем сточных вод (по данным 1996 г.), сброшенных в поверхностные водные объекты, составил 771,3 млн м³ (без очистки – 43,4 млн м³, через очистные сооружения пропущено 459 млн. м³, из них только 35 млн м³ очищено до установленных нормативов). Объем сточных вод, сброшенных в водоемы нормативно чистыми (без очистки), составил 260,6 млн м³ (рис. 2).

Определяющим фактором гидрологического режима дельты Северной Двины является речной сток, подверженный сильным приливоотливным колебаниям уровня. Протяженность морского участка реки

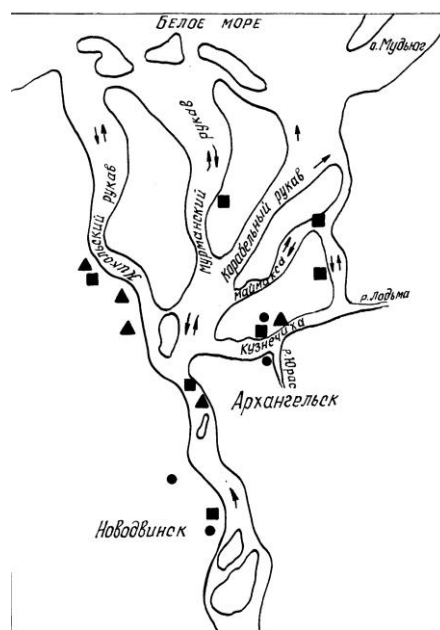


Рис. 1. Схема расположения пунктов контроля (■), водозаборов (○) и источников загрязнения (●) в бассейне дельты р. Северная Двина

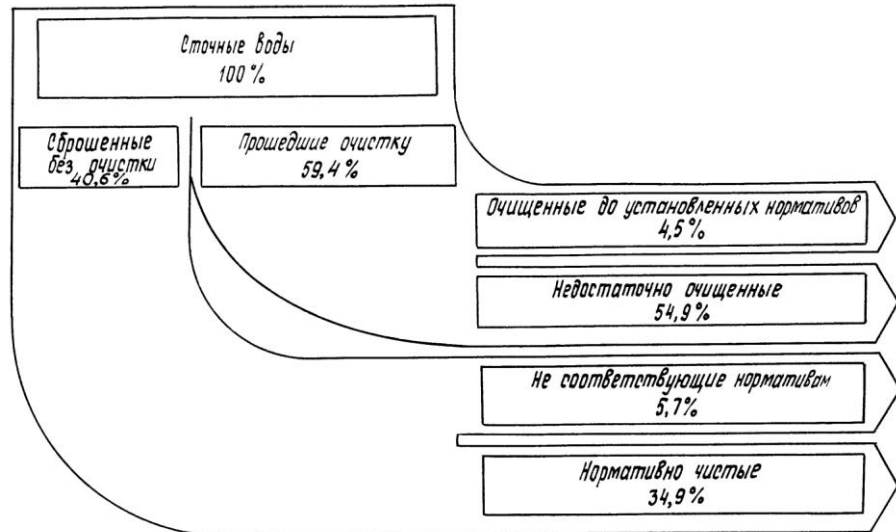


Рис. 2. Схема распределения объемов сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты (данные 1996 г.)

составляет около 120 км, его верхняя граница находится в Холмогорском разветвлении (у Юрского переката); водомерный пост Усть-Пинега (базовый контрольный пост, расположенный в 135 км от дельты) уже не фиксирует приливо-отливные колебания уровня. Среднегодовые расходы у п. Усть-Пинега не обнаруживают тенденции к отклонению от среднего многолетнего значения и используются для расчета водопотоков по рукавам.

Режим уровней в дельте Северной Двины характеризуется большой сложностью и существенно различается в отдельных ее частях (рис. 3). Это объясняется прежде всего изменчивостью факторов, определяющих уровень режим со стороны реки и моря. На колебания уровня влияют астрономические и метеорологические факторы. Первые обуславливают периодические колебания, вызываемые приливной волной, распространяющейся со стороны моря (периодичность имеет полусуточный характер). Метеорологические условия в бассейне реки определяют величину стока и распределение его в течение года. Наиболее существенные колебания являются следствием паводковых волн и, особенно, половодья.

Гидрологические измерения подтвердили, что водопоток, формирующийся в дельте Северной Двины у п. Усть-Пинега, практически в полном объеме поступает к посту Смольный Буян и в дальнейшем распределяется по основным рукавам: Никольский – 37,3 %, Мурманский – 19,3 %, Корабельный – 21,2 %. Анализ изменения характеристик указывает на существование максимальных водопотоков весной (май) и осенью (ноябрь).

Особенностью гидрохимического состава р. Северная Двина, усложняющей решение задач водоподготовки, является ее большая минерализация, повышенное содержание органических (фенолов, лигнинных веществ, таннидов и др.) и биогенных веществ.

Нами проведена эколого-аналитическая оценка техногенного воздействия на водоисточник (дельта р. Северная Двина) г. Архангельска по результатам контроля химического состава воды Северным центром мониторинга загрязнений окружающей среды Севгидромета за 1988–1997 гг. в следующих точках:

I – г. Архангельск, железнодорожный мост, у левого (ширина 0,3 м) и правого (ширина 0,7 м) берегов на глубине 0,3 м;

II – Никольский рукав, на 1 км выше с. Рикасиха, (ширина 0,5 м) на глубине 0,0 и 0,3 м;

III – Мурманский рукав, с. Красное, (ширина 0,5 м) на глубине 0,0 и 0,3 м;

IV – протока Маймакса, на 1 км ниже поста Экономия, у левого и правого берегов на глубине 0,0 и 0,3 м.

Анализ данных показал, что для большого класса веществ возможно выявить зависимость их концентрации от времени года, т. е. построить модель внутригодового хода процесса. При этом показатели можно условно разбить на три группы. Например, концентрация гидрокарбонатов, натрия, калия, магния, кальция, хлора, сульфата и такие интегральные показатели, как минерализация и жесткость, имеют одинаковые законы изменения во времени (рис. 4). Математически зависимость последних от времени достаточно хорошо описывается следующими полиномами:

для минерализации

$$M(t) = 0,664 t^5 - 20,947 t^4 + 245,495 t^3 - 1,304 \cdot 10^3 t^2 + 3,016 \cdot 10^3 t - 2,072 \cdot 10^3;$$

для жесткости

$$Q(t) = 6,522 \cdot 10^{-3} t^5 - 0,209 t^4 + 2,468 t^3 - 13,125 t^2 + 29,997 t - 19,374.$$

Следует отметить, что данные уравнения адекватно отражают процессы, протекающие у пунктов контроля I и II, и только для части показателей (кальций, гидрокарбонаты) зависимости справедливы у всех кон-

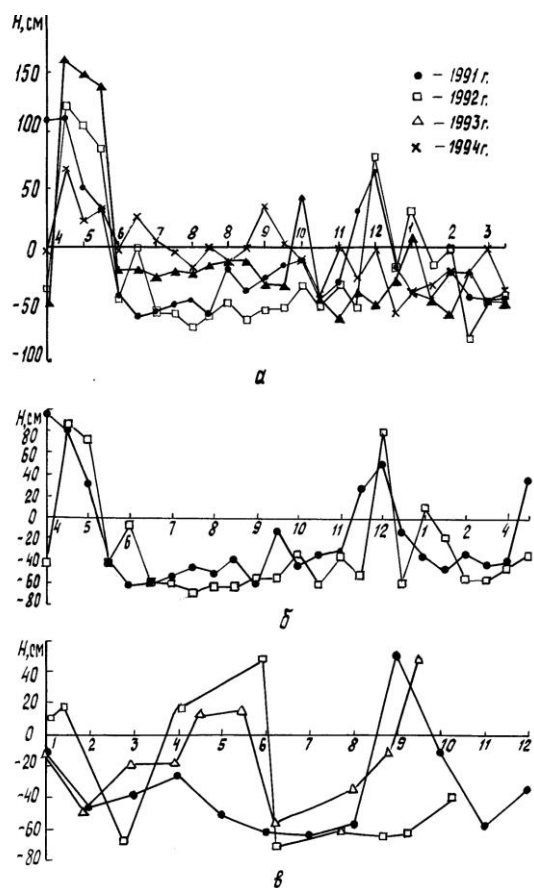


Рис. 3. Изменение уровня воды H в течение года в контролируемых створах: а – Смольный буйан; б – Соломбала; в – п. Конвейер (здесь и далее, на рис. 4 – 8, цифры на горизонтальной оси обозначают порядковый номер месяца в году)

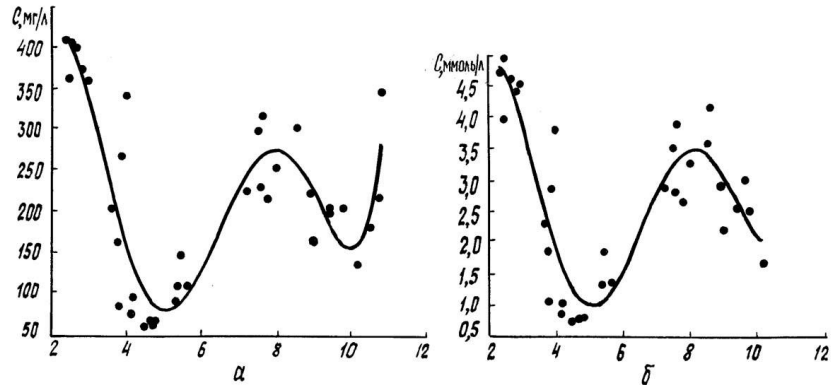


Рис. 4. Изменение параметров минерализации (а) и жесткости (б) воды (данные 1989 – 1997 гг.; C – содержание солей)

трольных точек. Например, для пунктов контроля III, IV наблюдается увеличение концентрации натрия в десятки раз по сравнению с обычной (средней) в марте и августе–сентябре, что, вероятно, объясняется большей активностью приливных течений в эти периоды и близостью к морю.

Следующую группу, для которой выявлена общая зависимость концентрации от времени, можно условно назвать биогенными компонентами и загрязняющими веществами неорганического происхождения. Несмотря на различие их характеристик в первой половине года, все они обладают общей особенностью – минимум концентрации вещества наблюдается в августе–сентябре. Такие результаты получены для соединений азота, кремния, фосфора, железа (рис. 5). В отличие от первой группы веществ, приведенные модели второй группы подходят для описания процессов изменения концентрации во всех пунктах контроля.

Растворенный кислород, являясь интегральным показателем жизнедеятельности организмов водной среды, коррелирует с другими интегральными параметрами, характеризующими качество воды.

При совмещении зависимостей концентрации растворенного кислорода от времени (рис. 6) с показателями первой группы установлено, что минимум концентрации кислорода совпадает с максимумами концентрации

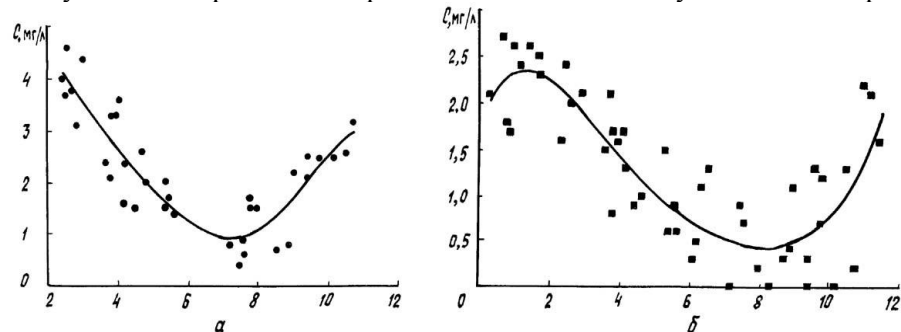


Рис. 5. Изменение содержания кремния (а) и фосфатов (б) в воде в течение года (данные 1989 – 1997 гг.)

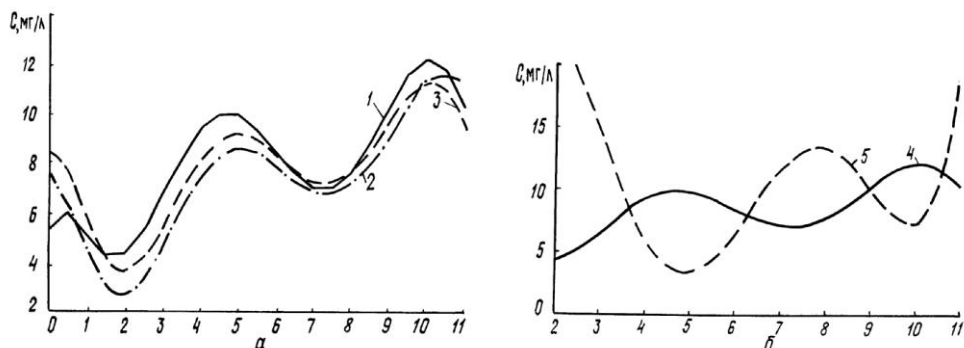


Рис. 6. Изменение содержания растворенного кислорода (1 – 4) и натрия (5) в воде в течение года: 1,4 – 1990 г.; 2 – 1991 г.; 3 – 1992 г.

упомянутых показателей, что указывает на активизацию процессов жизнедеятельности микроорганизмов и редокс-процессов.

Для третьей группы веществ, не имеющих четкой зависимости концентраций от времени (рис. 7), можно предложить подход к анализу их поведения с позиции оценки самоочищающей способности реки на данном участке. Представим дельту реки как систему, имеющую два входа и несколько выходов (рис. 8). Необходимость рассматривать левый и правый берега как отдельные входы системы связана с существенной разницей концентраций многих веществ в этих точках. Для каждого времени отбора фиксировали значения показателей на входе и выходе системы (например у левого берега в районе железнодорожного моста и в Никольском рукаве).

Повторяя процедуру, получаем данные, анализ которых указывает на линейную зависимость между ними.

По виду уравнения $C_{\text{вых}} = aC_{\text{вх}} + b$ можно судить о самоочищающей способности реки на данном участке. Так, при $a = 1$ ($a \rightarrow 1$) и относительно малом b ($b \rightarrow 0$) можно сделать вывод об отсутствии очищения воды; при $a < 1$ и $b \leq 0$ ($b \rightarrow 0$) – о наличии самоочищения (причем, чем меньше a , тем интенсивнее идет этот процесс); при $a > 1$ и $b \geq 0$ – о загрязнении воды.

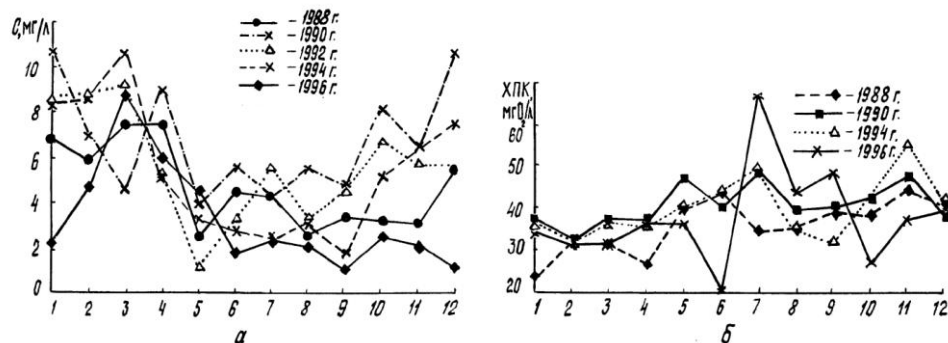


Рис. 7. Изменение содержания лигносульфонатов (а) и показателей ХПК (б) в воде в течение года



Рис. 8. Схема дельты р. Северная Двина

На рис. 9 представлены зависимости вход–выход для концентрации лигносульфонатов, позволяющие отметить несущественное самоочищение реки по этому показателю в Никольском рукаве и более интенсивный процесс самоочищения в Мурманском рукаве и протоке Маймакса.

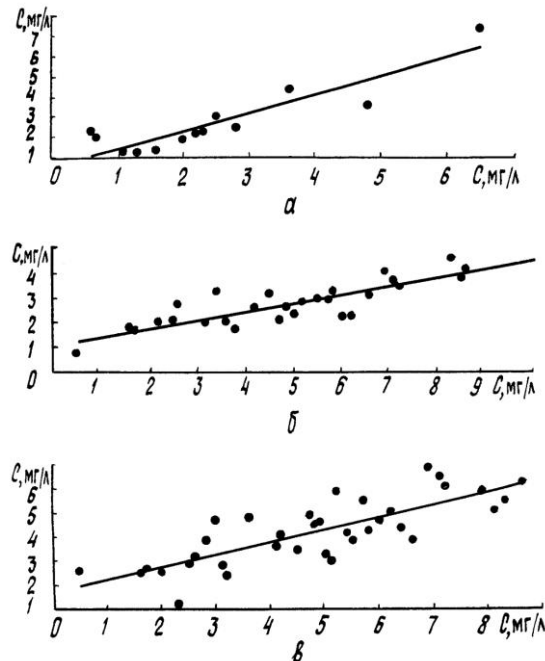


Рис. 9. Взаимосвязь содержания C лигносульфонатов в водотоках: a – участок железнодорожный мост – Мурманский рукав; b – участок железнодорожного моста (правый – левый берега); $в$ – участок железнодорожный мост – Никольский рукав

Изложенный выше подход применим также для получения характеристик «перемешивания» вещества на рассматриваемом участке реки, если за вход принять левый, а за выход – правый берег реки (или наоборот). Например, построив такую зависимость для лигносульфонатов в точке I, можно оценить интенсивность процесса перемешивания на участке от АЦБК до железнодорожного моста (считая, что лигносульфонаты поступают именно с АЦБК, т. е. с левого берега).

По виду представленной на рис. 9 зависимости можно сделать вывод о том, что концентрация лигносульфонатов у левого берега значительно выше, чем у правого, и перемешивание произошло приблизительно на 25 %.

Изложенный выше метод оценки самоочищающей способности и перемешивания дает приблизительные результаты и может оказаться полезным на практике. Нами он был применен для оценки и других показателей (бихроматной окисляемости, БПК₅, фенолов, нефтепродуктов, формальдегида, метанола).

Анализ изменения компонентного состава р. Северная Двина в месте водозабора г. Архангельска за период 1988–1997 гг. позволит

**Химический состав воды р. Северная Двина (водозабор г. Архангельска,
данные 1988–1997 гг.)**

Показатели	Численные значения показателей			
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Предельно допустимое
Цветность	232	55	121	-
Взвешенные вещества	96,6	0,2	13,5	-
Минерализация	408,4	62,7	217,2	-
Жесткость	5,91	0,73	2,49	-
Гидрокарбонаты	175,7	30,7	99,8	-
pH	8,02	6,88	7,57	-
Кислород	13,99	3,06	8,15	≥ 4
Насыщение кислородом	107	16	65	-
Углекислый газ	15,4	2,9	7,6	-
Магний	16,8	1,5	8,1	40
Хлор	21,1	2,7	8,7	300
Сульфаты	96,8	9,6	49,8	-
Натрий	24,2	1,4	9,9	120
Калий	3,1	1,0	1,8	50
Кальций	63,9	12,0	37,3	-
Кремний	4,1	0,7	2,2	10
Фосфаты	2,0	0,0	0,1	0,2
Азот:				-
нитритный	0,083	0,001	0,004	0,01
нитратный	0,32	0	0,096	0,04
аммонийный	2,01	0,01	0,11	0,5
Алюминий	0,94	0,004	0,13	0,04
Железо	0,97	0,01	0,38	0,05
Хром общий	0,006	0,001	0,002	-
БПК ₅	5,9	0,79	2,1	≤ 3
ХПК	66,1	23,8	39,2	≤ 15
Лигносульфонаты	10,7	1,9	4,17	1,0
Нефтепродукты	0,09	0,04	0,07	0,05
Формальдегид	0,07	0,03	0,05	0,05
Метанол	0,75	0	0,2	0,1

Примечание. Все показатели определены в мг/л, кроме цветности (град), жесткости (ммоль/л), pH, насыщения кислородом (%), БПК₅ (мг O₂/л) и ХПК (мг O₂/л).

определить основные ингредиенты и наиболее экологически опасные для человека примеси как природного, так и антропогенного происхождения (см. таблицу), а также приоритетные направления технологических и инженерных решений в системах водоочистки.

Поступила 6 февраля 1998 г.