

УДК 556.06:551.482.212

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ
КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД
В ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ**

О.Г. Савичев, В.А. Базанов*, Н.Ю. Ломакина

Томский политехнический университет

*Научно-исследовательский институт биологии
и биофизики при Томском государственном
университете

E-mail: OSavichev@mail.ru

Савичев Олег Геннадьевич, д-р геогр. наук, профессор кафедры гидрогеологии инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ.

E-mail: OSavichev@mail.ru
Область научных интересов: гидрология, гидрохимия, геоэкология, природообустройство.

Базанов Владимир Александрович, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете. E-mail: ingeotech@mail.ru

Область научных интересов: геоботаника, геоэкология, болотоведение.

Ломакина Наталия Юрьевна, студентка кафедры гидрогеологии инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ.

E-mail: OSavichev@mail.ru
Область научных интересов: природообустройство.

Проведен анализ эффективности существующих очистных сооружений на территории Томской области. Показано, что наблюдается недостаточно глубокая очистка сточных вод по содержанию макрокомпонентов, соединений азота и фосфора, железа, кремния, органических веществ, причем в ряде случаев наблюдается увеличение концентраций загрязняющих веществ в сточных водах на выходе очистных сооружений. Сделан вывод о целесообразности более широкого использования в процессе очистки систем с естественной аэрацией и местной водной растительностью, полей орошения и полей фильтрации.

Ключевые слова:

Сточные воды, очистные сооружения, эффективность очистки, Томская область.

Введение

Во многих регионах мира наблюдается неудовлетворительное экологическое состояние водных объектов, в связи с чем с каждым годом все большее значение приобретает решение проблемы эффективной очистки сточных вод. Эта проблема актуальна и для Томской области [1]. Все это определяет необходимость самого пристального рассмотрения вопросов охраны водных объектов указанного региона и поиска современных способов их решения с учетом природных условий. Но, прежде всего, необходимо провести анализ эффективности существующих очистных сооружений, чему и посвящена рассматриваемая работа. Исходной информацией послужили опубликованные и фондовые материалы государственного мониторинга поверхностных вод и водохозяйственных систем на территории Томской области в 1999–2011 гг. [2, 3].

Основные методы очистки сточных вод

Согласно [4], методы очистки сточных вод можно разделить на механические, химические, физико-химические и биологические. Применение того или иного метода определяется: 1) особенностями размещения объектов, образующих стоки в черте городов и населенных пунктов, рекреационных и природоохранных территорий, или на слабозаселенных человеком территориях (на месторождениях нефти, удаленных на десятки и сотни километров от урбанизированных территорий) и др.; 2) характером загрязнения приемника сточных вод; 3) степенью вредности примесей. В соответствии с действующими природоохранными документами в любом случае используются наилучшие технические решения, а выбранный вариант должен оп-

ределяться наименьшей величиной приведенных затрат с учетом сокращения трудовых затрат, расхода материальных ресурсов, электроэнергии и топлива, а также исходя из санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных требований [5].

Механическая очистка проводится с целью задержания нерастворенных примесей. К сооружениям механической очистки относятся решетки, сита, песколовки, отстойники и фильтры различных конструкций. Решетки и сита предназначены для задержания крупных загрязнений органического и минерального происхождения, песколовки – для выделения примесей минерального состава, преимущественно песка, отстойники – для задержания оседающих и плавающих загрязнений. Механическая очистка позволяет выделять из бытовых сточных вод до 60 % нерастворимых примесей и обычно предшествует стадии биологической очистки сточных вод [6].

Химическая очистка сточных вод включает нейтрализацию, окисление, восстановление, реагентные методы выделения загрязняющих веществ в виде малорастворимых и нерастворимых соединений и проводится перед их подачей в систему оборотного водоснабжения и перед спуском в водный объект или городскую канализационную сеть, либо предшествует стадии физико-химической и биологической очистки. Кроме того, химическая обработка применяется для дезинфекции или обесцвечивания стоков. При использовании окислителей наиболее часто применяют хлор, гипохлорит кальция, хлорную известь, диоксид хлора, озон, технический кислород, кислород воздуха, реже – пероксид водорода, оксиды марганца, перманганат и бихромат калия [7]. В процессе химической очистки достигается уменьшение нерастворимых примесей до 95 % и растворимых до 25 %.

Физико-химические методы во многих случаях применяются для очистки сточных вод. Эти методы применяются обычно при обработке производственных сточных вод или в комплексе с методами механической и биологической очистки. Включают в себя коагуляцию и флокуляцию, сорбцию, ионный обмен, экстракцию, различные электрохимические методы, мембранные методы (обратный осмос, ультрафильтрацию) и др. Коагуляция – это процесс укрупнения дисперсных частиц за счет их взаимодействия и объединения в агрегаты; флокуляция – процесс агрегации дисперсных частиц под действием высокомолекулярных соединений (флокулянтов); сорбция – процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью (сорбентом) во всем объеме сорбента (абсорбция) или на его поверхности (адсорбция); жидкостная экстракция – процесс извлечения вещества из водного раствора в жидкую органическую фазу, не смешивающуюся с водой. Флотация используется для очистки стоков от поверхностно-активных веществ (ПАВ), нефтепродуктов, масел и различных волокнистых материалов [7]. При физико-химической очистке из сточных вод удаляются тонкодисперсные и растворенные неорганические примеси и разрушаются органические и плохо окисляемые вещества.

Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности биоты (микроорганизмов, растений и др.), которая минерализует и трансформирует растворенные органические соединения, являющиеся источником их питания. Сооружения биологической очистки могут быть разделены на два вида: 1) сооружения, в которых процесс биологической очистки протекает в условиях близких к естественным (поля фильтрации (орошения), биологические пруды); 2) сооружения с биологической очисткой в искусственно созданных условиях – в аэротенках и биофильтрах [6].

Особо отметим технологию очистки сточных вод в биологических прудах с высшей водной растительностью, которая в последние годы получает достаточно широкое распространение, как в странах Европейского Союза, так и в Российской Федерации, в том числе в Западно-сибирском федеральном округе. Она позволяет существенно снизить стоимость очистки стоков малых населенных пунктов и в труднодоступной местности при сохранении или даже увеличении ее эффективности [4]. В частности, в Институте цитологии и генетики СО РАН и НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете (ТГУ) совместно с Областным государственным учреждением (ОГУ) «Облкомприрода» разработаны технологии биоочистки сточных вод различного происхождения с помощью тропического растения – водяного гиацинта (*Eichhornia crassipes*).

Другое перспективное направление биологической очистки сточных вод в естественных условиях – использование полей орошения и фильтрации, позволяющих убрать 50...60 % загрязнений. Поля орошения отличаются от полей фильтрации тем, что на первых выращивают овощи, злаки, плодовые и декоративные деревья и кустарники, технические культуры, а поля фильтрации служат только для очистки сточных вод. При этом выделяют коммунальные и сельскохозяйственные поля орошения. Коммунальные поля орошения используют в основном для очистки сточных вод, а выращивание сельскохозяйственной продукции играет вспомогательную роль. Земледельческие поля орошения служат для полной биологической очистки сточных вод и планового выращивания сельскохозяйственной продукции [6]. Следует отметить, что, согласно [8], допускается создание земельных полей орошения на торфяниках, то есть на болотах. Дезинфекция сточных вод является заключительным этапом их обработки перед сбросом в водный объект. Наибольшее распространение получил способ дезинфекции путем введения газообразного хлора. Возможно обеззараживание сточных вод озоном, с помощью бактерицидных ультрафиолетовых ламп и т. д. [6].

Обработка осадков сточных вод, образующихся в процессе очистки последних, заключается в снижении влажности осадков, уменьшении объема и обеззараживании. Субстанции, задерживаемые решетками, вывозят с территории очистных сооружений, либо они дробятся и обрабатываются совместно с осадками из отстойников. Песок из песколовков обезвоживается на песковых площадках и также вывозится или отмывается от органических загрязнений, подсушивается и используется в планировочных работах. Осадок из первичных отстойников и уплотненный осадок из вторичных отстойников (активный ил) направляется в метатенки, в которых под действием анаэробных микроорганизмов минерализуются органические вещества. Вместо аэротенков может применяться метод анаэробной стабилизации, осадки могут использоваться в лесохозяйственных и сельскохозяйственных целях и т. д. [4, 6].

Характеристика отведения коммунально-бытовых сточных вод в Томской области и возможности использования твердой фракции стоков для рекультивации нарушенных земель

По данным [2], в последние годы непосредственно в реки и озера сбрасываются сточные воды от 52 сооружений, в болота – от 8. Сточные воды прочих очистных сооружений поступают на рельеф и городскую канализационную сеть. Основная часть очистных сооружений расположена в г. Томске и Томском районе (рис. 1). В 2000–2005 гг. из обследованных очистных сооружений удовлетворительно функционировали 12 % проверенных очистных сооружений, с более или менее серьезными нарушениями – 64 %, полностью неудовлетворительно – 24 %. У ряда обследованных выпусков сточных вод без очистки выявлено отсутствие лицензии на право пользования поверхностным водным объектом и/или нарушения условий лицензионных соглашений.

Как показал анализ многолетних наблюдений ОАО «Томскгеомониторинг», наиболее эффективно очистка сточных вод на территории Томской области проводится по содержанию взвешенных веществ. Содержания минеральных солей (по сухому остатку) и трудноокисляемых органических соединений по химическому потреблению кислорода (ХПК) в результате функционирования очистных сооружений практически не меняется, а концентрации соединений азота и фосфора даже увеличиваются (таблице). В целом, более 70 % очистных сооружений Томской области функционирует с теми или иными нарушениями, связанными с: 1) использованием устаревших технологий водоочистки, не предусматривающих обработку и утилизацию накопленного осадка, доочистку стоков, в результате чего в водные объекты поступает большое количество нитратов и нитритов, образующихся в процессе биологической очистки (их содержание увеличивается, по сравнению с исходным, в среднем, в 2,5...3 раза); 2) несоблюдением на большинстве существующих очистных сооружений проектных нормативов их работы; 3) недостатком или отсутствием квалифицированных специалистов [2, 3].

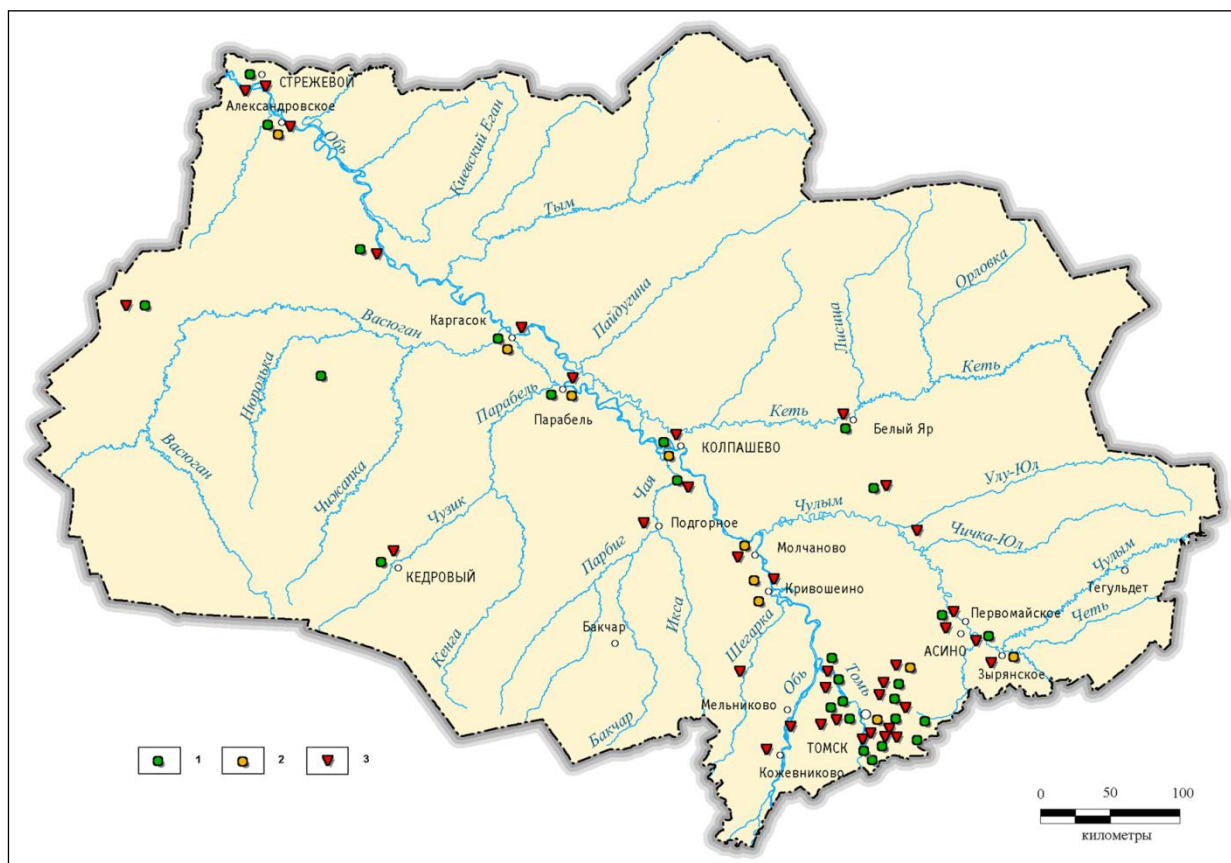


Рис. 1. Расположение выпусков сточных вод без очистки и очистных сооружений на территории Томской области. Крупные очистные сооружения: 1) с биологической очисткой; 2) все остальные. Крупные выпуски сточных вод: 3) отдельный выпуск сточных вод [2]

Анализ данных о сбросе загрязняющих веществ в водные объекты на территории Томской области (таблица) позволяет сделать вывод о возможности использования осадка, образующегося при очистке стоков, для рекультивации нарушенных земель и ведения лесохозяйственной деятельности. Это определяется, *во-первых*, тем, что большая часть территории Томской области входит в состав лесного фонда и характеризуется высокой заболоченностью, низким плодородием и закисленностью почвенного покрова. Поэтому применение осадка, полученного при очистке коммунально-бытовых стоков, позволит увеличить содержание в почвах солей кальция, соединений азота и фосфора, что благоприятно скажется на возможности использования нарушенных и/или заболоченных земель в лесохозяйственных целях. *Во-вторых*, технология рекультивации предусматривает внесение удобрений с целью привноса в почву примерно тех же веществ, что находятся в коммунально-бытовых стоках. С учетом этого использование осадка, образующегося при очистке стоков, для рекультивации нарушенных земель в лесохозяйственных целях представляется обоснованным и разумным мероприятием в рамках комплексного использования и охраны природных ресурсов.

Таблица. Среднеголетний химический состав сточных вод до и после очистки и сточных вод без очистки, сбрасываемых в поверхностные водные объекты Томской области (обобщение фондовых данных ТПУ и [2, 3]), мг/дм³

Наименование объекта	Пункт	Створ	Характеристика вод	Взвеш. в-ва	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Сухой остаток	N NH ₄ ⁺	N NO ₂ ⁻	N NO ₃ ⁻	Si	PO ₄ ³⁻	Fe _{общ.}	Фенолы	Нефтепродукты	ХПК	БПК ₅	Токсичность, %
р. Бровка	с. Кривошеино	ЖКХ с. Кривошеино	до очистки	183,0	66,4	12,6	717,5	52,60	0,00	0,21	9,60	5,05	2,79	0,036	0,16	214,4	–	–
			после очистки	151,5	57,4	10,1	719,0	44,75	0,00	0,16	10,00	8,20	2,70	0,029	0,17	190,6	100,4	66
р. Вяловка	с. Парабель	ЖКХ с. Парабель	до очистки	243,3	55,9	17,6	622,0	42,60	0,00	0,12	19,30	4,23	4,61	0,054	0,09	227,4	–	–
			после очистки	71,2	53,0	29,4	599,2	23,43	0,44	6,06	17,27	4,35	1,55	0,010	0,10	130,2	54,1	13
р. Обь	–	д/и «Лесная Дача»	до очистки	137,8	41,4	38,1	492,8	36,08	0,11	1,41	10,90	6,76	1,87	0,021	0,16	259,9	125,7	47
			после очистки	74,7	40,9	36,4	493,3	33,73	1,68	2,69	11,00	6,79	2,04	0,013	0,08	103,6	42,99	20
р. Ушайка	п. Мирный	ЖКХ п. Мирный	до очистки	165,5	63,0	31,9	678,5	40,25	0,03	0,23	36,50	5,93	3,81	0,031	0,06	326,7	–	–
			после очистки	95,7	46,2	27,9	619,7	9,81	0,35	3,63	17,55	4,30	3,59	0,006	0,06	57,5	34,6	25
р. Чулым	с. Зырянское	ЖКХ с. Зырянское	до очистки	187,5	53,4	24,9	598,8	48,94	0,03	0,09	4,80	5,80	1,36	0,011	0,27	153,7	19,0	–
			после очистки	75,2	52,0	25,4	625,3	44,40	0,06	1,01	10,00	6,60	1,19	0,012	0,12	137,5	85,0	52
р. Куендат	с. Первомайское	ЖКХ с. Первомайское	без очистки	83,0	70,6	28,3	642,0	41,38	0,00	0,26	9,35	7,36	3,67	0,029	0,07	117,4	65,7	36
Болото Обское	с. Кожевниково	–	без очистки	264,8	206,7	23,6	754,4	62,82	0,03	0,25	–	10,35	2,07	0,046	0,25	548,2	252,9	56
Болото Обское	с. Мельниково	–	без очистки	202,9	92,9	20,9	733,7	29,57	0,01	0,11	8,10	4,43	2,39	0,021	0,22	284,1	112,6	49
р. Соколы	с. Новокусово	Новокусовская с/адм.	без очистки	68,2	29,5	28,2	435,2	36,08	0,38	0,93	5,60	6,91	1,55	0,022	0,09	190,2	98,4	58
ПДК _{р-х.}				0,75 к фону	300	100	1000	0,39	0,02	9,1	–	0,15 0,46 0,61	0,1	0,001	0,05	–	2,1	не токсична (<33)
ПДК _{х-п..}				0,25 к фону	350	500	1000	–	1,0	10,2	10	3,5	0,3	0,25	0,3	15	2,1	

Отечественный и зарубежный опыт применения метода биологической очистки в сооружениях с естественной аэрацией

При выборе способа очистки стоков следует исходить из того, что основной особенностью Томской области являются суровые климатические условия, высокая заболоченность и низкое плодородие ландшафтов, труднодоступность значительной части территории региона. В связи с этим особое значение приобретают методы биологической очистки в условиях близких к естественным. В результате сточные воды не только проходят очистку, но и используются для повышения плодородия почв, улучшения лесохозяйственного значения территории, а также для рекультивации нарушенных земель. По этой причине ниже вкратце приведены результаты анализа российского и зарубежного опыта использования биологических сооружений указанного типа.

Прежде всего, отметим, что в Томской области в 2002 г. специалистами ТГУ были начаты работы по исследованию и опытным испытаниям способа почвенно-болотной очистки (обезвреживания) хозяйственно-бытовых сточных вод в условиях севера Томской области с помощью *Eichhornia crassipes*. В частности, реализуется схема очистки сточных вод г. Колпашево и п. Тогур с общим расходом сточных вод около 6000 м³/сут. Силами ОАО «Томскводпроект» с привлечением специалистов ТГУ разработана проектно-сметная документация «Биоинженерная система очистки хозяйственно бытовых сточных вод г. Колпашево и п. Тогур Колпашевского района» общей сметной стоимостью 11,12 млн. руб., что существенно меньше стоимости типовых канализационных сооружений (около 160 млн. руб.). Расчетная себестоимость очистки – 1 руб./м³.

Другой пример использования *Eichhornia crassipes* – система доочистки сточных вод НПО «Вирион» (расход стоков около 1000 м³/сут), включающая ботаническую площадку, пруд с высшей водной растительностью и биоплато, размещается в логу на северо-восточной окраине г. Томска. Биопруды, заполненные водяным гиацинтом, также апробированы для очистки хозяйственно-фекальных стоков свиного комплекса мощностью 216 тыс. голов свиней в год. В ЗАО «Кудряшовское» Новосибирской области, где при общей площади биопрудов 1,8 га глубиной около 0,6 м достигнута производительность 3...4 тыс. м³/сут. очищенной воды. В данном случае технология очистки была разработана в Институте цитологии и генетики СО РАН. Ранее аналогичные системы были построены и введены в эксплуатацию в России в Ставропольском крае и других регионах, а еще раньше – в США, Западной Европе, Австралии и Японии, в том числе с применением тростника, рогоза, рдеста, элодеи, камыша и т. д. [4, 9].

Например, согласно приведенным в работе [9] данным, «в г. Бентоне (США) с населением 4700 человек с 1985 г. осуществляется очистка бытовых сточных вод в прудах с зарослями камыша и других водных растений. Подсчитано, что стоимость такой системы очистки в 10 раз меньше, чем стоимость традиционных систем при удовлетворительном качестве очистки воды от соединений азота, фосфора, взвешенных и органических веществ. В Ирландии, г. Вильямстоуне, успешно эксплуатируется система совместной очистки хозяйственно-бытовых вод (72 %) и поверхностного стока (28 %), сконструированная в виде трех мелководных лагун, две из которых засажены камышом и рогозом, а третья представляет собой биопруд с плавающими водными растениями – лилией и ряской. В процессе очистки вода очищается до следующих показателей (мг/дм³): БПК – 9; взвешенные вещества – 9; полный азот – 14,2; ионы аммония – 0,8; нитраты – 9,2; ортофосфаты – 3,15. Среднее процентное уменьшение концентраций загрязняющих веществ в системе за двухлетний период изучения составляет: 48 % – для БПК, 83 % – для взвешенных веществ, 51 % – для общего азота, 13 % – для общего фосфора, удаление патогенных организмов достигает 99,77 %».

Особенностью большинства рассмотренных выше проектов является попытка максимального использования местных (аборигенных) видов растительности. С учетом этого при проектировании сооружений для биологической очистки коммунально-бытовых стоков малых населенных пунктов (включая вахтовые поселки) на территории Томской области представляется необходимым отдавать предпочтение местной, а не привозной флоре. Так как это позволит обеспечить устойчивость процесса очистки (за счет использования видов, приспособленных к климатическим и экологическим условиям) и снизить затраты на строительство и обслуживание очистных сооружений [3, 10]. Следует также отметить, что в развитых странах мира боль-

шое внимание уделяется рациональному использованию сточных вод и осадка, образующегося при их очистке для лесо- и сельскохозяйственных целей. В качестве примера можно привести технологию лесохозяйственного использования сточных вод малых населенных пунктов в Швеции. В соответствии с этой технологией предлагается использовать коммунально-бытовые сточные воды, образующиеся в малых населенных пунктах, для орошения участков с древесной растительностью. В данном случае жидкая и твердая фракции сточных вод, вследствие повышенного содержания в них соединений азота и фосфора, выступают в качестве удобрений.

Таким образом, достигается тройной эффект: 1) очистка сточных вод; 2) безопасная утилизация осадка, образующегося при очистке стоков; 3) улучшение лесохозяйственного значения территории, вплоть до извлечения выгоды за счет использования древесины. На наш взгляд, именно подобный вариант имеет наиболее благоприятные перспективы использования в Западной Сибири, где огромные территории заняты болотами и заболоченными землями с низкой биологической продуктивностью.

Заключение

Большая часть очистных сооружений на территории Томской области (86 %) не обеспечивает достижение нормативных показателей качества сточных вод. Наименьшая эффективность очистки наблюдается, прежде всего, для: 1) соединений азота и фосфора; 2) железа и органических веществ по химическому потреблению кислорода. В первом случае это свидетельствует о необходимости дополнительной доочистки сточных вод биологических сооружений от продуктов разложения легкоокисляемых органических веществ, а во втором – о природной специфике рассматриваемой территории, для которой характерна чрезвычайно высокая заболоченность, а следовательно, и высокое содержание органических веществ природного генезиса (включая углеводороды), азота аммонийного и соединений органических кислот, железа, марганца и ряда других металлов. К сожалению, эта специфика мало учитывается как в проектах очистных сооружений, так и при контроле их работы со стороны природоохранных органов. С учётом этого можно предположить, что, *во-первых*, даже повсеместное строительство биологических очистных сооружений не приведёт к существенному улучшению качества вод в водных объектах – приёмниках сточных вод. *Во-вторых*, решение водно-экологических задач в Томской области целесообразно проводить как в направлении проектирования и максимально широкого использования очистных сооружений с интегрированными элементами болотных участков и естественных и искусственных мелководных водоёмов, так и в направлении совершенствовании методологии оценки антропогенного воздействия на водные объекты Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адам А.М. Оценка экологического состояния территории Западной Сибири в целях обеспечения экологической безопасности в контексте устойчивого природопользования // Охрана природы. Вып. 3: Сб.статей / под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – С. 3–12.
2. Лыготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области. – Томск: ОАО «Томскгеомониторинг», 2006. – 88 с.
3. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. – Томск.: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. – 248 с.
4. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / V.F. Karpuhin. – Copenhagen: Schultz Grafisk, 2001. – 253 p.
5. СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 60 с.
6. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Саломеев В.П., Пугачев Е.А. Водоотведение. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 415 с.
7. Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков. – М.: Высш. шк., 2003. – 344 с.

8. СанПиН 2.1.7.573-96 «Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. Санитарные правила и нормы». – М.: Росстрой, 1996. – 25 с.
9. Диренко А.А., Кнус А., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Санитарная техника и водоснабжение. – 2006. – № 5. – С. 25–32.
10. Савичев О.Г. Проблемы нормирования сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты // Вода: химия и экология. – 2010. – № 9. – С. 35–39.

Поступила 15.12.2011 г.