



Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт водных проблем РАН

**ДИФфуЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ:
ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

Коллективная монография
под рук. В.И. Данилова-Данильяна

Москва
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение (Данилов-Данильян В.И.)	7
Благодарности (Данилов-Данильян В.И.)	16
ГЛАВА 1	
Научные и прикладные аспекты проблемы диффузного загрязнения водных объектов: обзор мирового опыта	18
1.1 Природный и антропогенный механизмы возникновения диффузного загрязнения	18
1.1.1 Особенности источников диффузного и сосредоточенного загрязнения природных вод (Полянин В.О.)	18
1.1.2 Типизация источников диффузного загрязнения (Полянин В.О.)	23
1.1.3 Факторы диффузного загрязнения по видам хозяйственной деятельности (Остякова А.В., Киртичникова Н.В., Григорьева И.Л., Волкова З.В., Кирейчева Л.В., Лепихин А.П., Полянин В.О.)	27
1.2 Расчетные методы оценки характеристик диффузного загрязнения	71
1.2.1 Методы оценки диффузного загрязнения по эмпирическим данным (Веницианов Е.В., Киртичникова Н.В.)	71
1.2.2 Гидролого-гидрохимические модели формирования диффузного загрязнения (Фащевская Т.Б., Мотовилов Ю.Г., Алгушаева А.В.)	102
1.3 Мониторинг диффузного загрязнения (Полянин В.О.)	126
1.3.1 Методы получения информации	129
1.3.2 Выбор проектов мониторинга	139
1.3.3 Принципы организации мониторинга	144
1.3.4 Особенности мониторинга отдельных видов хозяйственной деятельности, процессов и объектов природной среды	148
1.4 Зарубежный опыт защиты водных объектов от диффузного загрязнения (Полянин В.О., Беляев С.Д.)	156
1.4.1 Опыт Европейского союза	152
1.4.2 Опыт США и стран за пределами Европы	171

1.1.3 Факторы диффузного загрязнения по видам хозяйственной деятельности

1.1.3.1 Сельское хозяйство

Пути поступления загрязнений в водные объекты и источники таких загрязнений при сельскохозяйственной деятельности весьма разнообразны. Агропромышленный комплекс (АПК) в этом отношении является своеобразным конгломератом точечных и неточечных источников, которые во многих отношениях трудно поддаются контролю, даже в условиях ведения вполне контролируемой деятельности. Точечные источники загрязнения в АПК образуются преимущественно на объектах коммунального хозяйства сельских поселений, животноводческих и птицеводческих комплексах, в тепличных хозяйствах, производственной структуре сельскохозяйственного производства, на осушительных и оросительных системах. Неточечные источники формируются за счет поверхностного стока с сельскохозяйственных полей, включая орошаемые и осушаемые земли, территорий животноводческих комплексов и сельских поселений. Под неконтролируемыми точечными источниками загрязнения водных объектов сельским хозяйством понимаются такие сельскохозяйственные объекты, на которых предусмотрены технические решения по отводу и очистке сточных вод, но ввиду разных причин объемы стоков и их загрязнение не контролируются и в водные объекты поступают стоки ненадлежащего качества. К ним принято относить:

- хозяйственно-бытовые воды сельских поселений с населением менее 5 тыс. человек и фермерских хозяйств согласно [ВНТП–К–97, 1997; СП 42.13330.2011, 2011];
- малые животноводческие фермы с количеством голов, не превышающих 3 тыс., и птицеводческие фабрики (количество кур-несушек менее 50 шт., цыплят-бройлеров менее 300 шт.);
- сельскохозяйственные предприятия, осуществляющие мойку овощной продукции и картофеля;
- сельскохозяйственные предприятия, имеющие ненадлежащие очистные сооружения;
- малые тепличные комплексы, площадью менее 1 га;
- дренажные и дренажно-сбросные воды с орошаемых и осушаемых территорий.

В качестве неточечных источников загрязнения рассматриваются сельскохозяйственные угодья, территории сельских поселений, животноводческих ферм, сельскохозяйственных производственных предприятий, земли фермерских и дачных кооперативов, на которых технические решения по контролю качества вообще не предусмотрены или не отвечают установленным требованиям.



Рис. 1.2. Примеры неправильной агротехнологии утилизации отходов в сельском хозяйстве

Такая классификация является весьма условной, поскольку те же самые животноводческие и птицеводческие стоки могут утилизироваться по-разному. Так, при жидком способе удаления органики с последующим внесением ее на поля под запашку, т.е. распределением по поверхности водосбора, образующийся загрязненный поверхностный сток будет относиться уже к диффузному загрязнению. Ситуация существенно усугубляется в тех случаях, когда проведение запашки по каким-либо причинам не проводится или ее не успевают провести до очередного дождевого паводка. Кроме того, те же дренажные воды, хотя и поступают в водный объект в виде сосредоточенного потока, могут нести в себе загрязнения, формирующиеся на обширной территории, не подвергаются какой-либо очистке и, таким образом, несут в себе все признаки неточечных источников загрязнения.

Животноводческие и птицеводческие стоки, пожалуй, являются наиболее опасными из-за высокого содержания в них азота, фосфора, серы и патогенных микроорганизмов, что приводит к биологическому загрязнению и эвтрофированию водоемов, а также резкому ухудшению их общего санитарного состояния. Например, для крупных животноводческих хозяйств объем жидких стоков, подлежащих утилизации, может достигать до 1500 м³ в сутки.

Кроме того, зачастую на территории ферм и птицефабрик навоз и помет складываются без надлежащего контроля и, как правило, открытым способом, что приводит к попаданию стоков с таких территорий непосредственно на рельеф местности и далее в близлежащий водный объект (рис. 1.2).

Некоторые предприятия по переработке сельскохозяйственной продукции допускают складирование отходов на своей территории. Например, одним из основных проблемных отходов сахарных заводов является свекловичный жом – выщелоченная свекловичная стружка, в состав которой входят пектиновые вещества, клетчатка, гемицеллюлоза, имеется также небольшое количество белка, минеральных веществ и сахара [Электронный ресурс НАУКАРУС, 2018]. С наступлением весны многотоннажные отходы (на среднем сахарном заводе скапливается 150–200 тыс. т жома на террито-

рии площадью в несколько гектар) через 3–4 недели подвергаются масляно-кислому брожению, распространяя потоки масляной кислоты, поступающие в водоемы, и вызывая токсический эффект.

Сельскохозяйственное производство сопровождается выпасом скота и распашкой больших площадей земли, что приводит к деградации естественного растительного покрова, нарушению структуры и обнажению почв, делая их подверженными водной и ветровой эрозии. Сток воды с таких территорий, как правило, увеличивается, а вместе с ним происходит вынос в близлежащие водные объекты почвенных частиц, а также удобрений и пестицидов. Немаловажную роль играет возвратное поступление воды от систем орошения и мелиорируемых земель. Особую опасность представляют поверхностные стоки с животноводческих ферм, птицефабрик, территорий фермерских и садоводческих хозяйств. Как правило, объемы и качество стоков не контролируются, никакой очистке стоки не подвергаются и сбрасываются непосредственно в водные объекты. В стоках могут обнаруживаться взвешенные и органические вещества, биогенные элементы, химические вещества различного происхождения, отходы нефтепродуктов и тяжелые металлы, а также твердый мусор.

Воздействие сельского хозяйства на природную среду, а через нее и на водные объекты, осуществляется через многообразные производственные процессы, каждый из которых имеет свою специфику и тесно связан с местными и региональными особенностями земледелия и животноводства – агротехникой возделывания сельскохозяйственных культур, способами содержания скота и т. д. Вклад сельского хозяйства в диффузное загрязнение следует рассматривать в двух временных аспектах: 1) интегрированный во времени, долговременный, в результате которого возникли «накопленные» изменения, и 2) «сиюминутный», текущий, определяемый применением в конкретный период агротехнических мероприятий: машинной обработкой пашни, внесением агрохимикатов, дождеванием и т. д. К «накопленным» изменениям относятся эрозия почв, снижение их плодородия в связи с выносом из них гумусовых веществ, что, в свою очередь, требует повышенного внесения органо-минеральных удобрений и ведет к очередному витку нагрузки на водные объекты и их водосборы, дигрессия пастбищ при перевыпасе, засоление земель и т. п. [Национальный атлас..., 2018].

В районах с развитым земледелием и обработкой земли и даже в некоторых государствах, таких, как США и Австралия, сельское хозяйство по праву считается чуть ли не основным источником диффузного загрязнения природных вод.

В 2013 г. на международном агроэкологическом форуме в г. Санкт-Петербурге было отмечено, что более 60% поступления фосфора и более 70% поступления азота в Балтийское море связано с сельскохозяйственной деятельностью (рис. 1.3) [Международный..., 2013].

По данным министерства сельского хозяйства РФ и статистической отчетности [О ходе подготовки..., 2018; Российский..., 2017], в 2017–18 гг.

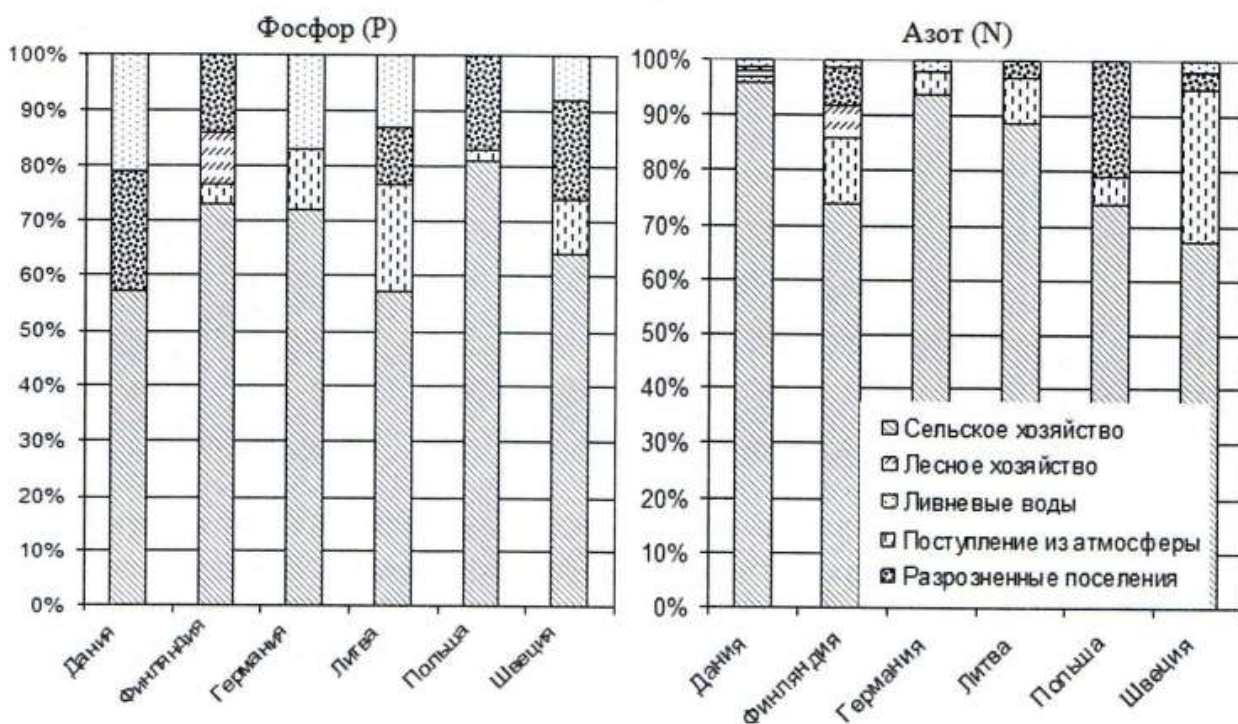


Рис. 1.3. Роль сельского хозяйства в формировании диффузной нагрузки в некоторых странах Балтийского региона

фактическая посевная площадь в стране составляет около 80 млн га, на которые ежегодно вносится более 3 млн т в действующем веществе минеральных удобрений. Общий объем органических удобрений в последние годы составляет более 65 млн т. Объем внесенных гипса, фосфогипса, других пород, содержащих гипс, а также известняковой и фосфоритной муки составляет около 2 млн т.

Хотя приведенные цифры и характеризуют дополнительную нагрузку на природную среду, по сути, чуждыми ей веществами, следует учитывать, что улучшение плодородия земель путем внесения агрохимикатов само по себе не является неременным условием загрязнения водного объекта. Большое значение имеет способ, количество и время внесения удобрений, уровень технической оснащенности и мониторинга производственных процессов, наличие административных, экономических и других барьеров, а также общая экологическая культура ведения хозяйственной деятельности.

В поверхностные воды с сельскохозяйственных территорий поступает в основном два преобладающих (по объему нагрузки) вида загрязнений – взвешенные вещества и биогенные элементы (азот, фосфор и др.). Подземные воды подвержены, прежде всего, загрязнению пестицидами – стойкими токсичными химическими веществами, которые применяются на сельскохозяйственных площадях для борьбы с сорняками и вредителями. Такое загрязнение представляет собой чрезвычайно острую экологическую проблему, поскольку подземные (в том числе грунтовые воды) широко используются для водоснабжения населенных пунктов [Михайлов, 2000].

В целом, исследованиями установлено [Комплексное..., 1985], что из общего количества внесенных на поля удобрений в водные объекты попадает до 20 % азота, до 2,5 % фосфора и до 30 % калия. В среднем с одного гектара пашни может выноситься в год до 80 кг нитратного азота, 3 кг фосфора и 60 кг калия, в зависимости от типа почв, количества и характера выпадающих осадков, вида растений и дозы удобрений [Особенности гидрохимического режима..., 1985].

Экспериментальными наблюдениями в Тверской области – в верховьях р. Волги [Кузнецов и др., 1981] выявлена прямая зависимость между слоем стока воды (мм) в течение периода наблюдений и массой биогенных элементов (кг), выносимых в водные объекты с единицы площади (га) сельскохозяйственных угодий. Так, на хорошо удобренном поле при слое стока 70, 80 и 130 мм вынос фосфора составил 0,25, 0,5 и 0,9 кг/га соответственно. Показано также, что в среднем вынос азота на порядок и более выше, чем фосфора. Среднее за пять лет наблюдений соотношение азота и фосфора для различных агрофонов неодинаково, на озимых оно составило 10:1, а на зяби – 27:1. Кроме того, установлено, что для разных типов агрофона объем выноса фосфора неодинаков: при слое стока 100 мм вынос растворенного азота с трав составил за период наблюдений около 1,5 кг/га, с озимых – 4,5 кг/га и с зяби – 9 кг/га.

Вынос ЗВ может происходить не только в растворенном виде, но и в сорбированном виде вместе с вымываемыми с водосбора почвенными частицами. Объем загрязнений и в этом случае будет пропорционален величине смыва. Например, в описанном выше эксперименте наибольший вынос фосфора со смывтой почвой наблюдался на зяби – 4,8 кг P/га, на озимых он не превышал 1,3 кг P/га, а на травах был наименьшим – 0,14 кг P/га.

Определенную роль играют также экспозиция, уклон и протяженность склонов. Очевидно, что действие этих факторов будет наиболее значительно проявляться на локальных участках и, прежде всего, для малых рек, ручьев, водосборов небольших озер и прудов местного значения. Для крупных водосборов их проявление будет сглаживаться. В некоторых работах [Чуян, Пыхтин, 1978] этим факторам отводится второстепенная роль по сравнению с типом агрофона, состоянием почв и увлажненностью территорий. Существенное влияние оказывают также количество, время и способ внесения удобрений [Беличенко, Швецов, 1986]. Авторы отмечают, что многие азотные соединения (особенно нитратная форма азота), внесенные в почву, обладают высокой подвижностью и поэтому активно вымываются из верхних почвенных горизонтов с талыми и дождевыми водами. То же относится и к калию, входящему в состав минеральных удобрений. Этот элемент вымывается из пахотного слоя, особенно интенсивно на легких почвах. Фосфор обладает меньшей подвижностью и лучше связывается с почвой, его вынос в водные объекты осуществляется в основном благодаря почвенной эрозии. Поэтому с полей под озимыми культурами фосфора выносится меньше, чем с зяби, а с полей, занятых травами, меньше, чем с озимых.

Интересные балансовые оценки получены лизиметрическими исследованиями (от греч. «*lisos*» – растворение) на дерново-подзолистых почвах с применением стабильного изотопа азота ^{15}N . Наблюдения над динамикой влажности в почвенном профиле и инфильтрацией атмосферных осадков для определения состава фильтрующихся вод широко применяют в агрохимии для мониторинговых исследований (оценка явлений переноса веществ, в том числе и загрязняющих) в различных природных ситуациях, в лабораторных экспериментах для изучения явлений переноса веществ (метод почвенных колонн и монолитов), в естественных условиях для исследования эволюции почв, почвенных процессов «*in situ*». Подход позволяет изучать динамику вымывания минеральных солей из почвы, включая компоненты минеральных удобрений [Лизиметрический метод..., 2013]. В указанном эксперименте из внесенного удобрения растениями было использовано только от 30 до 60 % азота, 15–30 % аккумуляровалось в почве, 10–30 % отнесено на счет улетучивания газообразных соединений и 1–5 % было вымыто с лизиметрическими водами.

Следующая серия детальных экспериментов проводилась в полевом севообороте на серой лесной почве, особое внимание уделялось миграции азота как одной из составляющих его баланса в условиях пятилетнего внесения 60, 120, 180 кг/га [Никитишен и др., 1979]. Из анализа баланса азота в почве за пятилетний период следует вывод, что вымывание нитратов является существенной статьей потерь лишь в случае применения тройной и в меньшей мере – двойной доз азотного удобрения. Из 300, 600 и 900 кг/га, внесенных в почву, растениями усваивалось 166, 257 и 296 кг/га, или 55, 43 и 33 %. В пахотном слое почвы преимущественно в органической форме закреплялось 120, 192 и 264 кг/га азота (соответственно – 40, 32 и 29 %), а нитратная форма азота в количестве 12, 112 и 278 кг/га передвигалась ниже 20 см на глубину 100, 200 и 300 см, попадая тем самым в грунтовые воды. От внесенного в почву количества азота это составляло 4, 19 и 30 %. На долю азота, вымывшегося на глубину 100–300 см, приходилось 0,37 и 130 кг/га, а неучтенные потери составляли 2, 39 и 62 кг/га. Из проведенных исследований был сделан важный вывод, что в условиях Нечерноземной зоны с целью снижения нагрузки на окружающую среду не следует ежегодно применять свыше 120 кг/га азота.

Чрезмерная эксплуатация пастбищ (перевыпас скота), ведущая к деградации растительного покрова и нарушению почвенного покрова, вспашка полей до уреза воды, неправильное направление распашки склонов, отсутствие буферных зон (полос) с нетронутым травостоем, недостаточно продуманные в целом способы организации агроландшафтов, структура посевов, виды севооборотов и их размещение по рельефу местности – все эти антропогенные факторы наряду с физико-географическими особенностями территории определяют развитие такого негативного явления, как *эрозия*.

Принято различать два основных вида эрозии: ветровую и водную. Ветровая эрозия развивается при скорости ветра более 15 м/с преимущественно весной, когда еще не появилась растительность, в результате чего обра-



Рис. 1.4. Развитие водной линейной эрозии на склоновых сельскохозяйственных угодьях

зуются пыльные бури, охватывающие порой огромные пространства. Водная эрозия подразделяется на плоскостную и линейную. Первая связана со смывом частиц почвы, вторая с глубоким размывом почвенного покрова. Наибольшую опасность представляет линейная эрозия, которая начинается с формирования отдельных борозд, рывтин, промоин и завершается возникновением оврагов и балок.

Водно-эрозионные процессы начинаются при уклонах в 3° и усиливаются при уклонах $5-6^\circ$. Легкий смыв почвенных частиц наблюдается уже при уклонах 1° . При уклоне 2° и выше проявляется линейная эрозия, и в паровом поле происходит смыв почвы от 0,5 до 10 кг/га (рис. 1.4).

Общая доля эродированных, дефлированных (подверженных ветровой эрозии) и опасных с этой точки зрения сельскохозяйственных угодий России превышает 50% и продолжает неуклонно увеличиваться. Практически во всех регионах России наблюдается снижение содержания гумуса и элементов питания в почвах сельскохозяйственных угодий. Увеличиваются территории, подверженные процессам опустынивания (характерно для Нижней Волги) и деградации почв.

Более трети почв сельскохозяйственных угодий страны подвержены таким негативным процессам, как засоление, загрязнение и захламление промышленными и бытовыми отходами. Процессы деградации особенно сильно охватили высокоплодородные в прошлом черноземы России, которые составляют более 40% всей площади пахотных угодий страны.

В России водная и ветровая эрозия наряду с такими явлениями, как переувлажнение и заболачивание, потопление, засоление и осолонцевание, опустынивание, относится к основным негативными процессам, приводящим к деградации земель, почвенного и растительного покрова [Государственный доклад..., 2017б].

По данным Российского НИИ проблем мелиорации, в целом по стране в составе эродированных сельскохозяйственных угодий средне- и сильноэродированные земли занимают около 26 %, из них пашни – 14,9 %, сенокосы – 1,2 и пастбища – 9,3 %. Доля эродированных и дефлированных земель продолжает неуклонно увеличиваться. В течение последних 20 лет темпы прироста этих земель достигают до 1,5 млн га в год.

По разным оценкам, почвы сельскохозяйственных угодий России ежегодно теряют около 1,5 млрд т плодородного слоя вследствие проявления эрозии, что равносильно потере 18–20 млн т питательных веществ, так или иначе поступающих в водные объекты. Помимо прямого загрязнения рек и водохранилищ, в результате эрозии недобирается пятая часть продукции растениеводства. На землях, подвергшихся эрозионным процессам, теряется в среднем 15% урожая зернобобовых культур, 32% – пшеницы, 45% – картофеля, 25% – кормовых трав [Методические указания..., 2015].

По оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации объединенных наций:

- эквивалент одного футбольного поля почвы эродируется каждые 5 секунд;
- уровень ускоренной эрозии почв на землях под пашней и интенсивным выпасом скота оценивается в 100–1000 раз выше, чем естественный уровень эрозии [FAO, 2019].

Взвешенные вещества, поступающие с поверхностным стоком с сельскохозяйственных полей в результате водной эрозии в водные источники, значительно снижают прозрачность воды, что ухудшает фотосинтезирующую деятельность фитопланктона, а значит, уменьшается содержание растворенного кислорода. Может происходить забивание жабр и фильтровальных аппаратов у гидробионтов, а также заиление нерестилищ.

Использование *пестицидов* для борьбы с вредителями и сорняками также вносит определенный вклад в загрязнение водных объектов путем их выноса с поверхности обработанных полей в результате выпадения осадков или с водами от орошения. Физические и химические свойства этих специфических веществ влияют на их поведение и транспорт. Одни пестициды переносятся в основном в сорбированном на почвенных частицах виде, другие сорбируются хуже и выносятся с полей преимущественно в растворенном состоянии. При интенсивном земледелии, особенно в условиях монокультуры, приходится использовать большие количества химических средств защиты растений, в чис-

ло которых входят и соединения тяжелых металлов. Например, протравливание зерна перед посевом производится ртутьсодержащими фунгицидами; в состав фунгицидов входит также медь в форме хорошо растворимого сульфата (купросил, купроксат, бордосская жидкость и др.). Известно, что в определенных концентрациях они не только влияют на качество пресных вод, но и становятся токсичными для гидробионтов и аккумулируются в их тканях. По трофическим цепям металлы могут попадать в организм человека.

Общие потери пестицидов в полевых условиях могут составлять от менее 1% до 10% внесенных ядохимикатов [Wauchope, 1978; Baker, 1983]. В наибольшей степени эти потери происходят в период выпадения ливневых осадков, когда такие осадки выпадают сразу после распыления пестицидов. Концентрация пестицидов в поверхностном стоке может варьировать от менее 1 мкг/л до 1 мг/л и более.

Основным источником поступления пестицидов в водные объекты является поверхностный сток талых, дождевых и грунтовых вод с сельскохозяйственных угодий, коллекторно-дренажные воды, сбрасываемые с орошаемых территорий. Пестициды также могут вноситься в водные объекты во время их обработки с целью уничтожения нежелательных водных растений и других гидробионтов, со сточными водами промышленных предприятий, производящих ядохимикаты, непосредственно при обработке полей пестицидами с помощью авиации, при небрежной транспортировке их водным транспортом и при хранении. Несмотря на большой вынос стойких пестицидов в водную среду, содержание их в природных водах относительно невелико из-за быстрой кумуляции пестицидов гидробионтами и отложения в илах. Коэффициенты кумуляции (во сколько раз содержание химического вещества больше в гидробионтах, чем в воде) составляют от 3–10 до 1000–500000 раз.

Различные пестициды с неодинаковой интенсивностью вымываются из почвы. Так, хлорорганические пестициды (гексохлоран, циклогексан) длительное время сохраняются в почве и выносятся в основном (на 80–90 %) талыми снеговыми водами с интенсивностью до 0,4% в год в степной зоне и до 0,7% в год в лесной. Фосфорорганические пестициды (метафос, хлорофос) задерживаются в почве сравнительно недолго и вымываются главным образом дождевыми водами. Максимальный вынос 2–3% в год в степной зоне и 4–6% в год в лесной. С орошаемых полей вынос в несколько раз больше, чем с неорошаемых (при поверхностных технологиях орошения). В любом случае смыв пестицидов ускоряется в районах с развитой эрозией почв.

Чрезмерная эксплуатация пастбищ (перевыпас скота) ведет к деградации растительного покрова и нарушению почвенного покрова. Интенсивное вытаптывание травянистой растительности происходит вблизи мест водопоя. Так, некоторыми исследованиями отмечено [Нежиховский, 1990], что в радиусе 20–40 м вокруг водопойных колодцев возникает голая площадка, на расстоянии 40–100 м – сильное разрежение травостоя, а на удалении 100–1000 м от колодца – угнетение растительности со снижением урожайности трав на 20–40 %. Наиболее опасен для травостоя период летних дождей. Во избежание вытапты-

вания травы и развития эрозионных процессов в месте водопоя должно обслуживаться не более 1500–2000 голов овец или 200–250 голов крупного рогатого скота и лошадей. Проблема заключается еще и в том, что в случае водопоя из открытых источников животные получают непосредственный доступ к водному объекту и помимо вытаптывания осуществляют прямое загрязнение воды своими фекалиями, в том числе патогенными микроорганизмами.

Одним из путей носителей загрязнений, формирующихся в агропромышленном комплексе в бассейне р. Волги, являются коллекторно-дренажные воды с мелиоративных систем, отнесенные в настоящее время к категории «нормативно-чистых». Объем коллекторно-дренажных вод с оросительных систем составляет примерно 50% от забора воды на орошение. Состав загрязнителей определяется агротехническими и агрохимическими приемами возделывания и набором сельскохозяйственных культур, что предопределяет поступление в дренажные воды пестицидов, аммонийного и нитратного азота, фосфора, солей тяжелых металлов. Дренажные воды оросительных систем имеют, как правило, повышенную минерализацию: в зависимости от исходного засоления пород зоны аэрации – от 1 до 5–6 г/л, в отдельных случаях – до 10 г/л и более (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Химический состав (диапазон и ср. знач.) дренажных и дренажно-сбросных вод с оросительных систем по регионам Российской Федерации [Желязко и др., 2002]

Регион РФ	Минерализация, г/л	Концентрация ионов (мг/л) и значение pH						
		HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	pH
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Астраханская область	0,4–1,96 1,2	77,0– 421 230,2	42,0– 559,0 219,9	85,0– 744,0 349,0	45,0–243,0 123,1	16,0– 180,0 58,2	38,0– 409,0 162,8	–
Волгоградская область	0,3–24,4 2,8	68,0– 737,0 368,1	14,0– 5285,0 402,2	20,0– 13845,0 1201,8	12,0–920,0 139,6	5,0– 1008,0 120,4	3,0– 6110,0 585,7	6,7– 9,4 7,9
Липецкая область	0,4–0,7 0,5	220,0– 360,0 288,2	18,0–42,0 27,7	43,0– 115,0 64,2	64,0–132,0 96,0	11,0–34,0 16,7	7,0–15,0 12,0	7,6– 7,9 7,7
Республика Калмыкия	1,2–10,6 6,7	224,0– 395,0 313,5	297,0– 3850,0 1601,0	432,0– 4080,0 2438,0	40,0–750,0 412,5	126,0– 570,0 365,0	211,0– 2503 1276,7	7,0– 8,0 7,8
Самарская область	0,3–0,4 0,3	128,0– 205,0 153,0	36,0–58,0 42,0	38,0–98,0 68,0	48,0–68,0 61,0	9,0–20,0 14,0	6,0–40,0 16,0	7,3

Экспертным путем установлено, что при средней минерализации 2,5 г/л в водные объекты поступает от 10 до 25 млн. т различных солей в год. Помимо основных химических элементов, в дренажном стоке присутствуют различные загрязнители: пестициды, аммонийный и нитратный азот, фосфор, соли тяжелых металлов (табл. 1.2).

Орошение увеличивает потери веществ из почвы, по сравнению с богарными условиями. Расчеты, выполненные для трех видов сельскохозяйственных культур – травы, озимая пшеница и кукуруза на зеленый корм, для условий богары (и сходное) и орошения дождеванием на фоне дренажа для глубины заложения дренажа – 0,5, 0,8, 1,2 м показали, что с поверхностным стоком выносятся в 1,5–2,5 раза больше минеральных удобрений, чем в таких же условиях на богаре. Кроме того, на орошаемых землях применяются интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур, что требует увеличения доз минеральных и органических удобрений, а это в свою очередь приводит к увеличению диффузного загрязнения с орошаемых площадей.

Таблица 1.2

Содержание остатков удобрений и ТМ (мг/л) в дренажных и коллекторных водах Волго-Донской оросительной системы (по данным ВКО ВНИИГ и М)

Место отбора проб	N-NO ₃	P ₂ O ₅	Zn	Cu	Pb	Cd	Mn	Fe
Дрена	9,74	1,94	0,0016	0,0045	0,1875	0,0008	0,0163	0,0764
Сбросной коллектор	10,18	2,10	0,0026	0,0045	0,0938	0,0023	0,0204	
ПДК рыб.-хоз.	9,1		0,010	0,001	0,006	0,005	0,010	0,100

Осушение имеет ряд нежелательных последствий для качества природных вод. Это происходит вследствие как непосредственного поступления в водные объекты дренажного и поверхностного стока, обогащенного органическим веществом и биогенными элементами, так и изменения направленности почвенных процессов, приводящих к образованию легко мигрирующих химических элементов и увеличению интенсивности их выноса.

Формирование химического состава дренажных вод зависит от природных условий (климат, почвы, рельеф и др.), типа растительности и наличия микроорганизмов, режима и способа осушения, параметров дренажа, способов обработки поверхности почвы, состава и доз внесения удобрений, миграционной способности разных химических веществ.

1.1.3.2 Урбанизированные территории (города, поселки и пригородные зоны)

Территории городов и пригородных зон, как правило, представляют собой поверхности, трудно проницаемые для природных вод. Крыши домов, асфальтовые или мощеные покрытия, сильно уплотненный почвенный покров с нарушенной и зачастую полностью преобразованной структурой препятствуют просачиванию талых и дождевых вод, увеличивая поверхностный сток.

Кроме того, урбанизация сопровождается концентрацией различных видов хозяйственной деятельности, которые сами по себе могут включать различные источники диффузного загрязнения. Основными источниками загрязнения поверхностного стока в городах являются осевшие аэрозоли, отходы производства, продукты разрушения почвы, покрытий, растительности, выбросы в атмосферу промышленных производств, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания, утечки горюче-смазочных материалов транспортных средств и др.

С единицы площади городской территории смывается от 2 до 4 раз больше органических и минеральных веществ, чем с единицы площади сельскохозяйственных угодий. Еще большие различия наблюдаются между отдельными частями городской территории, различающимися типом землепользования: между селитебными, промышленными зонами и парками, садами и прочими территориями. Кроме того, эти различия будут также прослеживаться для разных сезонов года. Например, воды, поступающие в результате снеготаяния, загрязнены обычно сильнее, чем воды, сформировавшиеся в результате выпадения дождей. Так, содержание органических примесей (по БПК₂₀), в дождевом стоке колеблется от 40 до 90 мг/л, а в талых водах – от 70 до 150 мг/л. По величине данного показателя талый сток с автомагистралей и с территорий, прилегающих к промышленным предприятиям, сопоставим с городскими сточными водами. Относительно весеннего стока с территории городов следует отметить некоторые особенности этого сезона. Первая – снежные зимы и слабая уборка городских территорий от снега способствуют накоплению в снеге большого количества загрязнений, выпадающих из атмосферы и в результате движения автотранспорта; вторая – вследствие накопления большого количества загрязненного снега в довольно короткий период снеготаяния в городе происходит мощный импульсный смыв высококонцентрированного стока в водные объекты.

Значимую роль играет также вымывание ЗВ из атмосферы. В этом случае атмосферные осадки, еще не успев достигнуть поверхности земли, фактически образуют растворы различных солей, кислот, органических соединений и содержат в себе в виде взвеси твердые частицы (сажа, пыль и др.). Загрязнение атмосферы влияет на погодные условия и, наоборот, погодные условия изменяют характер загрязнения. На городскую территорию падает меньше солнечного света, наблюдается повышение температуры воздуха,



Рис. 1.5. Соотношение составляющих водного баланса городской территории по сравнению с естественным ландшафтом

облачности, туманов, гроз, увеличиваются их контрасты, уменьшается скорость ветра, относительная влажность. В качестве дополнительного фактора влияния урбанизации необходимо отметить тенденцию увеличения слоя осадков над городскими территориями в среднем до 10 % по сравнению сельской местностью [Скакальский, 1973].

Поверхностный сток с селитебных городских территорий имеет в своем составе как взвешенные, так и растворенные минеральные и органические примеси. Удельный вынос примесей со стоком поверхностных вод с территории города зависит от многих факторов: состояния дорожных покрытий, доли площадей с эродирующим грунтом, уровня организации и применяемой технологии уборки территорий, технологий удаления бытового мусора и промышленных отходов, уровня производства на предприятиях, режима работы пыле- и газоочистных установок, уровня эксплуатации автотранспорта, локализации участков территории, где неизбежны просыпи и проливы сырья и промежуточных продуктов, форм и технологий складирования и транспортировки сыпучих и жидких материалов [Гордин и др., 1990; Кирпичникова, 1991; Китаев, 1992].

Анализ данных показывает, что на содержание взвешенных веществ основное влияние оказывают интенсивность дождя и продолжительность предшествующего периода без осадков. Для загрязненности дождевого стока нефтепродуктами большое значение имеет интенсивность движения транспорта.

Преобладание искусственных покрытий, уплотнение, радикальное изменение структуры и преобразование естественного почвенного покрова способствуют увеличению поверхностного стока и смыва ЗВ, ведущих к деградации водных объектов (рис. 1.5).

Так, специальные исследования, проведенные на 125 участках рек в штате Коннектикут (США) в 2005–06 гг., показали, что ни на одном из них с до-

лей площади водосбора, покрытой трудно проницаемыми поверхностями более чем на 11–12 %, качество воды не соответствовало принятым в штате критериям здоровой водной экосистемы [EPA-State Approach..., 2013]. Указанная доля трудно проницаемых территорий послужила своеобразным критерием необходимости разработки специальных программ принятия водоохраных мер.

Всестороннее исследование влияния непроницаемых территорий на водные экосистемы выполнено специализированным центром по защите водосборов в США в начале 2000-х гг. [Impacts..., 2003]. Согласно указанной работе, ухудшение показателей качества воды начинает проявляться при превышении доли трудно проницаемых площадей более чем на 10%, а деградация водной экосистемы происходит при увеличении указанной доли свыше 25%.

Исследования такого рода представляют большой интерес для правильного планирования развития территорий, организации городских ландшафтов и поддержания экологической устойчивости водных экосистем, испытывающих влияние урбанизации. К сожалению, в отечественной научной и методической литературе эти вопросы не получили еще широкого распространения, не говоря уже о практике управления городским хозяйством, где в лучшем случае все сводится к расчистке и благоустройству прибрежной зоны ручья или пруда. Зачастую сами работы по благоустройству представляют собой строительство набережных, сопровождаются прокладкой и мощением дорожек, возведением павильонов и игровых площадок, следствием чего является дополнительное увеличение непроницаемых поверхностей и рекреационной нагрузки.

Использование реагентов для борьбы с гололедом приводит к увеличению минерализации воды. В состав реагентов входят хлориды различных металлов (натрия, магния, кальция, калия), в них также могут содержаться карбамид, гипс, цианиды и другие вещества, реакция которых на взаимодействие с окружающей средой еще не изучена досконально. Когда снег тает, эти вещества и их компоненты попадают в талые воды, а также в грунт придорожной полосы, что влияет на химический состав поверхностных и грунтовых вод, изменяет кислотность и вызывает засоление почв, угнетает развитие растительного покрова, влияет на видовой состав растительности, усиливает коррозию автомобилей, автодорожных конструкций и др.

Основным способом борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах общего пользования в России пока остается фрикционный. Удельный вес применения фрикционных материалов составляет 94,3%. Анализ опыта зарубежных стран показывает, что там достаточно широко применяются различные химические материалы для борьбы с гололедом на дорогах и городских улицах. Так, в США используют более 10 млн т хлористого натрия и 300 тыс. т хлористого кальция, во Франции – 1,2 млн т, в Англии – 1,5 млн т, в Дании – до 400 тыс. т, в Финляндии – до 150 тыс. т хлоридов.

В среднем 5 млн т дорожных солей ежегодно используется на дорогах Канады. Из-за опасений по поводу того, что большое количество хлоридов высвобождается в окружающую среду, проблема использования дорожной соли, а также рассолов, используемых при пылеподавлении, прошла всеобъемлющую пятилетнюю научную оценку в соответствии с Законом о защите окружающей среды Канады 1999 г.

За последние годы для борьбы с зимней скользкостью стали применять наряду с хлористыми солями более приемлемые с экологической точки зрения противогололедные материалы на основе ацетатов и формиатов [Автомобильные дороги..., 2006].

Для применения противогололедных смесей существуют определенные нормативы. Так, количество реагентов не должно превышать норму в 2 кг/м² дорожного покрытия, что представляется избыточным. При превышении содержания хлористого натрия в снежном покрове более 0,2 кг/м², применение хлоридов должно быть прекращено, а для борьбы с гололедом должны использоваться другие методы, поскольку очистка сточных вод с поверхности автодорог от хлоридов далеко не всегда возможна на практике [Электронный ресурс EcoLife, 2020]. Более того, хлориды в отличие от многих других веществ хуже задерживаются почвогрунтами и легко проникают в грунтовые воды. При этом ведение эффективного контроля за концентрацией хлоридов в снеге в реальных городских условиях часто является трудновыполнимой задачей. Норма внесения зависит от вида реагента, температурного режима и толщины ледяной корки. Для каждого реагента существует своя формула расчета, по которой можно высчитать норму расхода с учетом всех факторов, имеющих существенное значение, что также вносит дополнительные трудности в их применение, учитывая недостаточную квалификацию дорожных рабочих (рис. 1.6)¹.

Наиболее частые ошибки при применении реагентов заключаются в неправильной, зачастую избыточной, дозировке, в выборе несоответствующего температурного режима, в общем незнании правил работы с антигололедными средствами и технологии их нанесения, несоблюдении условий хранения, отсутствии надлежащего контроля за их использованием.

Все эти факторы приводят к загрязнению территории городов минеральными веществами, которые так или иначе попадают в ливневую канализацию и далее в близлежащие водные объекты, изменяя химический состав вод и увеличивая содержание в них солей. Для р. Москвы за последние 100 лет сезонная динамика минерализации заметно изменилась. В начале прошлого века минерализация речной воды повышалась от мая к марту. Уменьшение минерализации происходило в период снеготаяния. К концу двадцатого века внутригодовой ход минерализации изменился на противоположный: содержание солей весной повышается и снижается к концу лета за счет раз-

¹ Источник фото на рис. 1.6: <https://varlamov.ru/3388085.html>



Рис. 1.6. Антигололёдные реагенты на улицах Москвы

бавления дождевыми и грунтовыми водами, при этом общее содержание солей возросло почти в два раза. Установлено также, что для некоторых рек в составе поверхностных вод соотношение хлоридов и сульфатов смещено в сторону хлоридов, что говорит о глубокой перестройке условий формирования качества воды на фоне широкого использования противогололедных реагентов и накопленного загрязнения в городских почвах [Словягина и др., 2020].

Существенную нагрузку на водные объекты вносит *загрязнение атмосферы*.

Наблюдения за снежным покровом вблизи городов используются как индикатор состояния атмосферного воздуха. Качественный анализ химического состава позволяет идентифицировать источники атмосферных выбросов и получить пространственные распределения параметров на городских и прилегающих к городу территориях.

Выпадающий снег эффективно сорбирует примеси из атмосферы и депонирует не только влажные выпадения атмосферы, но и сухие пылевые выбросы от техногенных источников и автомобильного транспорта.

В период снегового паводка талые воды выступают активным переносчиком аэрозольных и водорастворимых форм токсикантов. Как показывают мониторинговые исследования [Василенко и др., 1985, Василевич и др., 2009], концентрация ЗВ в снеге оказывается на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе, поэтому измерения содержания веществ могут производиться

достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности. Исследование снежного покрова в городах позволяет также решать задачи идентификации источников антропогенного загрязнения рассматриваемой территории.

В качестве информативных химических индикаторов состояния снежного покрова и химических антропогенных загрязнений рекомендуется использовать следующие микроэлементы: Zn, Pb, Cu, Hg, As, Se, так как в условиях таяния снега они не трансформируются, а лишь перераспределяются в компоненты экосистем: почву, взвешенное вещество, донные осадки. Самым информативным компонентом в снежной массе служат твердые частицы, так как они сорбируют наибольшее количество микроэлементов при формировании снежного покрова.

Существует восемь наиболее распространенных и опасных групп веществ, загрязняющих воздух [Небел, 1993]:

- взвеси (частицы и капли), находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии и наблюдаемые визуально в виде смога или дымки. Другие загрязняющие компоненты, присутствующие в газо- или парообразном состоянии, невидимы, за исключением буроватого диоксида азота. Взвеси могут переносить химические вещества, растворенные в них или сорбированные их поверхностью;
- углеводороды и другие летучие органические соединения (например, бензин, растворители для красок);
- угарный газ;
- оксиды азота;
- оксиды серы, в основном диоксид (сернистый газ);
- тяжелые металлы;
- озон и другие фотохимические окислители;
- кислоты, в основном серная и азотная (чаще всего присутствуют в виде капель жидкости, образующих кислотные дожди и туманы).

ЗВ, попадающие в воздух, могут переноситься на большие расстояния. Поэтому ареал загрязнения, как правило, значительно превышает территории самих городов. Значительный объем в загрязнении атмосферы приходится на предприятия энергетического комплекса.

1.1.3.3 Транспорт

В связи с быстрым развитием *автотранспорта*, большим числом и сильной токсичностью веществ, содержащихся в выхлопе автомобильных двигателей, загрязнение окружающей среды автотранспортом представляет собой особую опасность.

В крупных городах основное атмосферное загрязнение приходится на автотранспорт, для Москвы, например, его доля превышает 90%, за ним следуют выбросы объектов теплоэнергетики и промышленных предприятий.

Таблица 1.3

Ориентировочный состав отработанных газов автомобильных двигателей

Компоненты	Размерность	Пределы концентраций компонентов для типов двигателей	
		бензиновые	дизельные
Азот, N	% объема	74...77	76...78
Кислород, O ₂		0,2...8,0	2...18
Пары воды, H ₂ O		3,0...13,5	0,5...10,0
Диоксид углерода, CO ₂		5,0...12,0	1...12,0
Углеводороды, CH (суммарно)		0,2...3,0	0,01...0,50
Оксид углерода, CO		0,1...10,0	0,01...0,30
Оксид азота, NOx		0,0...0,6	0,005...0,200
Альдегиды		0,0...0,2	0,0...0,06
Оксиды серы (сумм.)		мг/л	0,0...0,003
Сажа	0,0...100		0,0...20000
Бенз(а)пирен	0,0...25		0,0...10,0
Соединения свинца	0,0...60		

В отработанных газах автомобилей насчитывается более 200 химических соединений, в т.ч. такие опасные для здоровья человека, как окись углерода, окислы азота, различные углеводороды. Бензиновые двигатели, кроме того, выделяют продукты, содержащие металлы, хлор, бром, а дизельные – значительное количество сажи, частичек копоти ультрамикроскопических размеров. Входящие в состав отработанных газов газообразные примеси под действием солнечного света вступают в реакции, в результате которых образуются вещества, по своей токсичности, превышающие исходные загрязнители. Накопление этих продуктов в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях приводит к образованию фотохимического смога и образованию ядер конденсации осадков.

К токсичным компонентам отработавших газов относятся: оксид углерода, углеводороды, оксиды азота, оксиды серы, альдегиды, сажа, бенз(а)пирен, соединения свинца.

По данным исследований, легковой автомобиль при среднегодовом пробеге 15 тыс. км «потребляет» 4,35 т кислорода и выделяет 3,25 т углекислого газа, 0,8 т оксида углерода, 0,2 т углеводородов, 0,04 т оксидов азота. В отличие от промышленных предприятий, выброс которых концентрируется в определенной зоне, автомобиль рассеивает продукты неполного сгорания топлива практически по всей территории городов, причем непосредственно в приземном слое атмосферы.

На железнодорожном транспорте источниками выбросов вредных веществ в атмосферу являются объекты производственных предприятий и подвижной состав. Они подразделяются на передвижные и стационарные.

Из стационарных источников наибольший вред наносят котельные. В зависимости от применяемого топлива при его сгорании выделяются различные количества вредных веществ. При сжигании твердого топлива в атмосферу выделяются оксиды серы, углерода, азота, летучая зола, сажа. Мазуты при сгорании в котельных агрегатах выделяют с дымовыми газами оксиды серы, диоксид азота, твердые продукты неполного сгорания ванадия. Особый интерес представляет загрязнение продуктами истирания металлических узлов подвижного состава и контактной сети. Помимо загрязнения окружающей среды, металлическая пыль, осаждаясь на поверхность изоляторов контактной сети, создает слой загрязнения, при увлажнении которого атмосферной влагой может происходить нарушение изоляционных свойств покрытия. Качественный анализ сухого осадка после выпаривания снеговых проб показывает также наличие в снеге сажи, окислов металлов: свинца, цинка, натрия, алюминия, кремния, меди, хрома.

Водный транспорт не является ведущим для диффузного загрязнения водных экосистем. По некоторым оценкам, его вклад существенно ниже, чем, скажем, от сельского хозяйства и урбанизированных территорий. Воздействие от одного судна, причала или пристани на качество воды может быть невелико, однако, принимая во внимание количество таких объектов на внутренних водных путях, суммарный эффект их воздействия становится весьма ощутимым. Кроме того, большую роль играет тот факт, что суда и обслуживающая водный транспорт инфраструктура имеют непосредственное соприкосновение с водой в условиях фактического отсутствия каких-либо буферных зон, способных перехватить загрязнения.

Воздействие судоходства на водную среду и ее обитателей проявляется в нескольких формах:

- «прямое» загрязнение нефтепродуктами вод от работы судовых двигателей, аварий, технической неисправности судов, особенностей технологий грузоперевозок, эксплуатации и обеспечения работы водного транспорта;
- «шумовое» загрязнение водоемов от работы судовых двигателей и вибрации корпуса судов, влияющее на жизнедеятельность обитателей водоемов;
- «косвенное» загрязнение, включающее в том числе «механическое», «химическое» (от попадания в воду органических и неорганических химических соединений вместе с обрушающимися в результате переработки берегов от действия судовых волн, массами грунта), «тепловое» загрязнение из-за переработки берегов, которое вызвано обрушением берегов от судовых волн, попаданием земляных масс в воду, что сказывается на уменьшении глубин, интенсивности прогрева мелководий и, соответственно, уменьшения содержания растворенного в воде кислорода. Прогрев воды ведет также к образованию «биологического» загрязнения от развития водной биоты и зарастания берегов.

Наибольшее влияние на переработку берегов от судоходства оказывают суда в речной части водохранилищ, где расстояние от оси судового хода до берега малы и глубины судового хода минимальны. Для озерной части водохранилищ влияние судовых волн на эрозию берегов значительно меньше.

Современное интенсивное судоходство оказывает существенное отрицательное влияние на воспроизводство рыбных запасов. Особенно ощутимым это влияние становится при использовании на реках крупнотоннажных судов, имеющих осадку 3,5–3,8 м.

После прохождения судов такого класса в зоне распространения кильватерной струи резко повышается концентрация взвешенных веществ. Так, по результатам исследований на р. Волге фоновые концентрации взвешенных веществ составляли 23–32 мг/л у поверхности и 37–70 мг/л у дна, то после прохождения судов они составляли от 34 до 114 мг/л у поверхности и от 65 до 200 мг/л у дна. Столь значительное повышение концентрации взвешенных веществ приводит к образованию в последующем наилка на нерестовом субстрате нерестилищ и гибели икры.

Судоходство оказывает также волновое воздействие на берега рек и водохранилищ, вызывает их эрозию с последующим выносом продуктов разрушения в водный объект. На эрозию берегов водных объектов в значительной степени влияют облесенность береговой полосы, характеристики пород, слагающих берега, и хозяйственная деятельность или бездействие человека. Недостаточное внимание к данному вопросу со стороны исполнительных органов способствует разрушению берегов и, как следствие, обрушению в воду больших объемов почвогрунтов, нередко прямо с растительным покровом, интенсивному заилению водных объектов, зарастанию водоемов и их цветению.

К факторам негативного воздействия, которое оказывает на качество воды эксплуатация судов, относятся *утечки и/или сбросы подсланевых (ляльных) вод*, содержащих горюче-смазочные материалы (ГСМ), судовых сточных вод и *разливы нефтепродуктов*, включая случаи самостоятельного обслуживания владельцами двигателей катеров и лодок.

Любое судно является в миниатюре таким же загрязнителем воды, как и населенный пункт, стоки которого включают хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды. Так, на транспортных судах и судах технического флота в результате эксплуатации судовых механизмов и жизнедеятельности экипажа образуются загрязненные сточные воды – нефтесодержащие подсланевые, фекальные, хозяйственно-бытовые (серые), а также производственный и бытовой мусор, пищевые отходы. Во избежание попадания загрязненных стоков в реки и водохранилища необходимо оборудование всех типов судов закрытой системой бункеровки топлива и масла; обеспечение отдельными системами сбора подсланевых вод, сточных вод, мусора и пищевых отходов; оборудование установки для очистки и уничтожения каждого вида загрязнений или, при их отсутствии, удаление с судов отходов осуществлять передачей их на специально оборудованные суда-

сборщики, суда комплексной переработки отходов или на береговые стационарные сооружения. В настоящее время основная масса судов оснащена установками очистки или сбора хозяйственно-бытовых сточных вод для последующей сдачи их на береговые станции очистки и утилизации, а также установками для сжигания сухого мусора.

Кроме того, исследование этого вопроса в рамках разработки нормативов допустимого воздействия для водохранилищ водораздельного бьефа Канала им. Москвы, показывают, что имеющиеся технические средства в Московских речных портах обеспечивают сбор и передачу на утилизацию всего объема нефтесодержащих вод. Но положение со сбором и обработкой сточных вод, мусора и пищевых отходов остается напряженным, поскольку этих средств недостаточно, особенно с всевозрастающим количеством моторного маломерного флота, который оказывает серьезное влияние на гидрохимический и микробиологический режим водохранилищ. На современных маломерных прогулочных судах подсланевые воды не образуются, при этом отсутствуют судовые установки по очистке и обеззараживанию сточных вод, образующихся на судах. Кроме этого, большинство указанных судов неподнадзорны Речному регистру РФ и, как следствие, имеют ослабленный контроль со стороны государственных надзорных органов. Ситуацию усугубляет отсутствие действенной системы менеджмента качества утилизации сточных вод.

Вариантами утилизации с маломерных судов фекальных и серых сточных вод могут быть:

- прием сточных вод на специальных береговых пунктах утилизации;
- прием сточных вод на специально оборудованные суда – очистительные станции.

В настоящее время ближайший береговой пункт слива для судов, базирующихся на водохранилищах водораздельного бьефа Канала им. Москвы, размещен в Северном порту. Количество плавучих очистительных станций, приписанных к Северному порту, составляет две единицы. Это обуславливает оказание услуги по приему сточных вод только по установленному графику, что является дополнительным обременением для судовладельцев и капитанов судов. В связи с этим альтернативными и наименее обременительными вариантами утилизации сточных вод для судовладельцев могут быть сброс сточных вод в водные объекты (от одного судна от 100 до 1500 кг единовременно), что в соответствии с законодательством РФ недопустимо, или герметичная перекачка с судов специальными помпами сточных вод в канализационную сеть по месту отстоя судов (коттеджные поселки, яхт-клубы, базы отдыха и др.) Однако результаты обследований акваторий водохранилищ водораздельного бьефа показывают, что количество размещенного маломерного флота на них достигло значительных размеров, а береговые базы приема сточных вод в местах отстоя судов отсутствуют [Пояснительная записка..., 2009].

При транспортировке нефти по воде в среднем теряется 0,6% перевозимого объема. Это балластные, промывочные и подсланевые воды, которые в основном доставляются на береговые или плавучие очистные станции для очистки, но даже при эффективности очистки таких вод в 85 % поступление нефти и нефтепродуктов в воду составляет $0,006 \times (1 - 0,85) \times 100 = 0,09\%$ от объема транспортировки. Примерно такое же количество нефти попадает в воду при различных авариях нефтеналивных судов, несмотря на то, что танкеры оборудуются двойными бортами и днищем, автоматической сигнализацией об утечках нефтепродуктов.

На реках и водохранилищах всегда был развит маломерный флот (лодки, катера). Выхлопные газы подвесных лодочных моторов составляют 10–20% потерь топлива. За час работы отечественного мотора в воду выделяется до 142 мг горюче-смазочных материалов. Общее загрязнение водоемов нефтепродуктами в местах массового использования маломерного флота для отдыха и рыболовства может быть весьма значительным, например, в Ивановское водохранилище поступает от 17 до 46 т бензина в год.

Величина допустимого воздействия от лодочных моторов оценивается часто следующим образом. При часе работы лодочного мотора в водоем попадает порядка 5 г моторного масла (в зависимости от технического состояния и мощности двигателя). Исходя из допущения предельных допустимых концентраций вредных веществ, можно рассчитать максимальное количество маломерных судов, эксплуатацию которых можно допустить на данном водоеме. Например, рассчитано, что безопасное количество маломерных судов для Угличского водохранилища не должно превышать 6000 единиц [Либерфорт, 1979]. Разумеется, данные расчеты следует считать весьма условными, экологически адекватный лимит должен быть меньше. Прежде всего, потому что загрязнение от лодочных моторов происходит не только во время движения судов, но во время стоянки, заправки и обслуживания, а также комплексности воздействия, которая в существующих методиках не учитывается.

Все это приводит к ухудшению качества воды, рыбы, ухудшению кормовой базы, гибели молодняка, отклонения от нормального развития, появления рыб-мутантов и т.д. Негативное влияние нефтепродуктов на водную экосистему проявляется уже при их концентрациях, начиная с 0,05 мг/л. При этом сильно падают органолептические свойства воды, рыба начинает приобретать неприятный привкус. Концентрации свыше 0,5 мг/л для рыбы являются губительными. Также известно, что одна тонна пролитой в воду нефти образует на поверхности водного объекта тонкую пленку, покрывая акваторию площадью до 12 км² [Комплексное использование..., 1985]. Такая пленка является непреодолимым препятствием для проникновения в воду атмосферного кислорода, замедляет скорость аэрации водоема, вызывает заморные явления и массовую гибель рыбы и водоплавающей птицы. Отрицательное влияние на биоту оказывают также поверхностно-активные вещества, используемые для борьбы с нефтью. Кроме того,

существенно снижается привлекательность использования водного объекта в целях рекреации, водных видов спорта, купания и рыбной ловли.

Очевидную роль играет *поверхностный смыв* (ливневой сток) с территории пристаней, портов, судоремонтных предприятий, топливо-заправочных станций, мест очистки и мойки корпусов и судовых палуб, проведения лакокрасочных работ.

Грузовые и нефтеналивные порты создают локальные зоны загрязнения окружающей среды. В них пересекаются, как правило, несколько видов транспорта. Порты осуществляют накопление, хранение и сортировку грузов, их принятие и отправку, выполнение перегрузочных работ и пассажирских операций, бункеровку судов (заправку топливом, водой, продуктами питания и т.д.), обеспечение условий движения судов в акватории порта и их отстоя. Часто к порту примыкают железнодорожные станции с парком отстоя вагонов. На территории порта или около него могут размещаться судоремонтные предприятия или заводы, доки, затоны, хранилища для топлива и хранилища и очистные сооружения для приема фекальных, подсланевых и хозяйственных вод с судов.

Другие объекты инфраструктуры флота (шлюзы, причалы и пристани, затоны и др.) оказывают значительно меньшее и, как правило, периодическое отрицательное воздействие на водный объект.

Одним из факторов негативного воздействия, которое оказывает на качество воды судоходство, следует отнести *проведение путевых работ* при эксплуатации речного флота. В комплекс путевых работ входят: землечерпание, траление, дно- и берегоочистка, укрепление берегов. Наибольший удельный вес составляет землечерпание (дноуглубление), т.е. удаление наносов на судовом ходу для обеспечения необходимых для судоходства глубин. Землечерпание для обеспечения условий судоходства и отстоя судов, включая маломерные, выполняются в зависимости от интенсивности распространения наносов в пределах судового хода и в пунктах отстоя. Тральные работы выполняются для обнаружения и удаления препятствий в пределах судового хода. Эти работы способствуют взмучиванию донных отложений и выносу содержащихся в них ЗВ, что способствует вторичному загрязнению водного объекта.

1.1.3.4 Добыча полезных ископаемых и промышленные площадки

Данный вид деятельности сопровождается образованием шахтных, карьерных и рудничных вод, фильтрацией воды через отвалы горных пород и сопутствующим растворением, выносом рудных минералов, поверхностным смывом с территории предприятий и мест добычи, атмосферными выпадениями.

Поверхностный сток с территории промышленных предприятий характеризуется достаточно сложным химическим составом, который зависит от

применяемых на производстве технологических процессов. Концентрация поллютантов зависит от общего санитарно-технического состояния территории, контролем за технологическими процессами, организации хранения и транспортирования сырья, промежуточных и готовых продуктов, а также от принятой системы обращения с отходами. В случае крупных предприятий, включающих различные производства, важно понимать, что поверхностный сток по своим гидрохимическим показателям может быть неоднороден и заметно отличаться от стока с других участков и общего стока, что должно учитываться при разработке систем мониторинга, технологии очистки и схемы его отведения.

В зависимости от состава загрязнений, накапливающихся на промышленных площадках и смываемых поверхностным стоком, промышленные предприятия и отдельные их территории можно разделить на две группы.

Первая группа – предприятия, сток с которых по химическому составу близок к поверхностному стоку селитебных зон и не содержит специфических веществ с токсичными свойствами. К этой группе относятся предприятия черной металлургии (за исключением коксохимических производств), машиностроения, автомобильного транспорта, угольной промышленности и некоторых отраслей химической промышленности. Основными примесями, содержащимися в стоке с территорий предприятий этой группы, являются грубодисперсные примеси, нефтепродукты, сорбированные главным образом на взвешенных веществах, минеральные соли и органические примеси естественного происхождения. Но в отдельных случаях концентрация примесей в поверхностном стоке с территории промышленных предприятий может достигать значительных величин, в частности при сборе в ливневую сеть отработанных нефтепродуктов и других отходов производства, аварийных проливах и просыпках сырья.

Вторая группа – предприятия, на которых по условиям производства не представляется возможным в полной мере исключить поступление в поверхностный сток специфических веществ с токсичными свойствами или значительных количеств органических веществ, обуславливающих высокие значения показателей ХПК и БПК стока. Это предприятия цветной металлургии, обработки цветных металлов, коксохимического производства, бытовой химии, химической, лесохимической, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и микробиологической промышленности, кожевенно-сырьевые и кожевенные заводы, мясокомбинаты, шпалопропиточные заводы, аэропорты, производства химической и электрохимической обработки поверхностей металлов (гальванические производства), окрасочные производства, производства синтетических моющих средств (СМС) и др.

Проблемы диффузного загрязнения природных вод, связанные с крупнотоннажным промышленным производством из второй группы, рассмотрим подробнее на примере предприятий калийной промышленности. Следует

отметить, что принятые современные схемы разработки калийных месторождений, производства калийных удобрений связаны с извлечением на поверхность значительных объемов растворимых горных пород, хранением на поверхности больших объемов твердых и жидких отходов, которые, безусловно, могут обуславливать значительные потоки ЗВ в речных бассейнах, трактуемых как диффузное загрязнение.

Калийная руда извлекается из двух основных типов рудных месторождений:

- глубоко залегающих древних морских отложений, которые обычно находятся в пределах от 400 м до более 1000 м ниже поверхности земли;
- скопления соляного раствора на поверхности, такие, как Мертвое море на Ближнем Востоке и Солт-Лейк в Северной Америке.

Большая часть калийного сырья добывается в подземных месторождениях с использованием обычных методов механизированного подземного выщелачивания, хотя также используются методы добычи руд. Как правило, подземные рудники производят от 1 до 10 млн т калийной руды в год. Поверхностные рассолы эксплуатируются с использованием солнечных испарительных прудов для концентрирования и осаждения калия. Испарительные пруды обширны, некоторые покрывают более 90 км² площади суши при мощности производства около 8 млн т калийной руды в год.

Извлечение руды сопровождается рядом технологических процессов. Механизированные подземные горные работы являются наиболее широко используемым методом добычи калийной руды. В зависимости от таких факторов, как глубина залегания руды, геометрия, толщина и консистенция, геологические условия залегания руды и окружающих пород, а также наличие вышележащих водоносных горизонтов, могут применяться различные технологии и оборудование.

После добычи руда обычно переносится с помощью мостового конвейера, челночных машин или грузовых самосвалов в систему конвейеров, которые перемещают ее в подземные бункеры для хранения.

В настоящее время в ряде предприятий калийной промышленности, например в Северной Америке, используют не шахтный способ добычи, а процесс разделения на основе большей растворимости сильвинита (KCl) по сравнению с галитом (NaCl) при повышенных температурах в рассоле. Обычно рассол нагревают на поверхности, а затем вводят в руду через лунки. Нагретый раствор галита поглощает сильвинит из рудного тела и затем выкачивается обратно на поверхность в ряд прудов, где калий осаждается вместе с охлаждением рассола. Калий извлекается из прудов экскаваторами и отправляется на дальнейшую переработку. Рассол снова нагревается, и процесс повторяется. Преимущество метода заключается в том, что он позволяет добывать руду на большей глубине, чем при обычных методах подземной добычи.

Обработка калия обычно включает ряд этапов: измельчение; обесшламливание; выделение нерастворимого осадка; выделение полуразмельченной

горной породы; сушка; уплотнение и гранулирование; утилизация отходов. Для разделения отходов и побочных продуктов, таких как галит, и концентрирования калия используются четыре основные технологии: флотация, электростатическая сепарация, термическое растворение с кристаллизацией и сепарация в тяжелых средах. Некоторые из них могут использоваться вместе для улучшения сепарации.

Флотация является наиболее широко используемой старой технологией, основанной на разделении гидрофильных и гидрофобных частиц в жидкой среде. Электростатическая сепарация представляет собой сухой процесс, в котором минералы разделяются с использованием их различных электрических проводимостей. Термическое растворение с кристаллизацией основано на том же принципе, что и растворение рассолом, в результате чего нагретый рассол растворяет преимущественно хлорид калия. Сепарация в тяжелых средах основана на различии в удельном весе между сильвинитом и галитом для выборочного удаления более легких частиц сильвинита.

В силу разнообразия технологических процессов и масштабы производства такого рода существенно влияют на качество воздуха, воды и почвогрунтов. Обогащение калийных солей сопровождается большими объемами отходов, включая сточные воды, избыточные рассолы, шламы, содержащие глину и отходы галита. Зона производства на поверхности земли обычно ограничивается непосредственной площадью шахты, зона, занятая отходами, может составлять до нескольких квадратных километров.

Наиболее часто используют следующие методы размещения этих отходов:

- укладка отходов соли на поверхности;
- удержание отходов, таких, как избыточные рассолы и шламы в шламохранилищах или водоемах (рис. 1.7);
- управляемый сброс отходов из различных отстойников в реки и океаны;
- закладка отходов в выработанные подземные пустоты;
- закачка избыточных рассолов по скважинам в глубокие горизонты;
- использование отдельных составляющих отходов для различных нужд на месте или в других видах народного хозяйства.

Ориентировочные расчеты суммарного объема отходов, производимые ежегодно девятью калийными рудниками в провинции Саскачеван (Канада), работающими при полной добыче, составляют 15–25 млн т твердых отходов и 3,0–3,8 млн м³ рассолов [Philip M. Mobbs, 2010]. Заданный объем шламохранилища для одних только жидких отходов составляет приблизительно 4,2 млн м³ ежегодно. В настоящее время, однако, и уровни добычи калийных руд, и объем отходов составляют приблизительно 50% указанных величин. В Германии компания «K+S» в 2014 г. выпустила около 5 млн т продукции. При этом образовалось около 13 млн т отходов,



Рис. 1.7. Шламонакопитель Березняковского содового завода
(с указанием расстояния до р. Талыч – притока р. Камы)

большая часть из которых была складирована на земной поверхности, часть твердых отходов заложена в выработанные шахты, 1,5 млн т рассолов сброшено в реки, 1,4 млн т рассолов закачаны через глубокие скважины в подземные горизонты. Благодаря постоянному вниманию к этому вопросу со стороны производителей и применению новых схем очистки солей произошло сокращение жидких отходов на 70%, а удельный объем жидких отходов уменьшился с 2,2 м³ на тонну продукта до 0,6 м³/т [Henry et al., 2001].

В Белоруссии за 2014 г. произведено 7.5 млн т калийных удобрений, при этом 75% добытой руды составляют отходы производства. Из них 3,4% используется на различные нужды; так, в 2012 г. 827,9 тыс. т отходов галита было использовано в коммунальном хозяйстве (в основном как противогололедный реагент на дорогах). РУП ПО «Беларуськалий» все отходы складирует на поверхности земли [Сапешко и др., 2007].

Объем образующихся отходов и способы их отведения и утилизации определяются видом, составом и качеством добываемого сырья, т.е. месторождением, и способами добычи и обработки. Способ добычи и оборудование выбираются в зависимости от таких факторов, как глубина залегания рудного тела, геометрия, мощность и последовательность чередования пластов, геологические и геотехнические условия залегания руды и окружающих пород и наличие водоносных горизонтов.

Вопросы отведения и утилизации избыточных рассолов и глинисто-солевых шламов на калийных предприятиях мира удобно рассматривать по месторождениям. Именно месторождение, т.е. вид и состав добываемого

сырья, а также географическое положение, в частности, близость водных объектов, и определяют, главным образом, способы отведения и утилизации отходов. Так, на калийном месторождении в провинции Саскачеван (Канада) и твердые отходы, и рассолы складировались на поверхности земли около заводов в бассейнах сброса сточных вод, которые являются искусственно созданными лагунами и/или естественными понижениями [Philip M. Mobbs, 2010]. Нерастворимый остаток и рассол направляются в отстойники у основания отвала. Часть осветленных рассолов после осаждения соли и глинистых частиц возвращается в процесс. Чтобы минимизировать количество твердых отходов, складироваемых на поверхности, на руднике Vanscoy компании Агриум используются методы выборочной выемки для повышения качества руды поташа, поднимаемой на поверхность. Многие рудники (Vanscoy Агриум, Penobsquis PotashCorp (NB)) для уменьшения объемов отходов галита выпускают дополнительно соль (каменную или пищевую), которая используется в качестве кормовой добавки скота, стабилизатора для дорожного строительства и как противогололедный реагент. Закачка в глубокие скважины отработанных рассолов в соединении со складированием их на поверхности достаточно давно осуществляется на одном руднике в юго-восточном Саскачеване. Рассолы вводятся в глубокие водоносные горизонты силурийского возраста. Утилизация отходов в Нью-Брансуике (Канада) отличается от других месторождений благодаря особому, почти вертикальному, расположению калийных пластов. В выемочные камеры закладываются, в основном, твердые фракции отходов как от подземных дробилок, так и от процесса обогащения калийных руд. Жидкие фракции, перенасыщенные рассолы после осаждения глинистых шламов качаются обратно на поверхность, где вновь включаются в процесс обогащения. Дополнительный KCl, восстановленный из рассолов, поступающих с закладки галита, уплотняется, дробится, доводится до требуемого размера и прибавляется к основному продукту.

Внедрение замкнутых систем водоснабжения и удаления отходов дает значительные преимущества в повышении эффективности программы борьбы с загрязнением окружающей среды. Потенциальные источники загрязнения в виде трех главных потоков отходов (соляные хвосты, шламы и рассолы) интегрируются в процессе добычи. Соляные хвосты стали существенным компонентом разработанного метода закладок, рециркуляция рассолов увеличила процент извлечения продукта и исключила необходимость сброса загрязненных жидких отходов, а шламы и некоторое количество рассолов эффективно закладываются в соляные камеры [Philip M. Mobbs, 2010].

Система отведения и утилизации отходов в Нью-Мексико (США) является стандартной и обычной для многих предприятий калийной промышленности. Глинисто-солевые шламы складировались на территории предприятия, непрерывный мониторинг контролирует возможные утечки соли. Отходы от процесса флотации, главным образом галит, накапливаются

в солеотвалах. Избыточные рассолы испаряются в водохранилищах-отстойниках или передаются в естественные озера на местности, где они собираются. Методы возврата отходов в шахту изучаются, но пока они высокочрезвычайно затратны.

Компания «Kali und Salz GmbH» эксплуатирует три калийных предприятия в регионе Верра в Германии: Хатторф, Унтербрайтцбах и Винтерсхалль. Руда обогащается с применением процессов сухой электростатической сепарации и обогащения путем мокрого теплового растворения для получения различных калийных и магниевых продуктов. На каждую тонну обогащенной руды приходится 22% продукта и 78% отходов [Henry et al., 2001]. Отходы представляют собой преимущественно соляные хвосты и растворы хлористого магния ($MgCl_2$). Применяемый процесс дает возможность в значительной степени всухую отделить полезный продукт от соляных хвостов. В то же время хлористый магний можно отделить от хлористого калия только в растворе. Это приводит к большим количествам образующихся рассолов. Отработанный рассол на каждой обогатительной фабрике закачивается в ряд накопительных бассейнов, откуда осуществляется сброс в речную систему. Сброс регулируется и контролируется посредством компьютерной системы, чтобы величина разрешенной концентрации хлоридов в 2,5 г на 1 л речной воды не была превышена, так как речной режим и скорость течения непостоянны. Немецкий концерн KaliundSalz вел закачку в подземные надсоляные горизонты с 1926 г. В настоящее время повышенное солесодержание крупного водотока-приемника р. Верра на $2/3$ обусловлено разгрузкой ранее закачанных рассолов, поэтому закачки прекращены. Концерн разработал проект отведения рассолов в море.

РУП ПО «Беларуськалий» (Старообинское месторождение) является типичным представителем горнорудных предприятий, деятельность которых всегда вызывает существенные изменения структуры природных ландшафтов. Земная поверхность оседает над отработанными подземными выработками, и большие площади плодородных земель отчуждаются для хранения отходов обогатительных фабрик. Институтом ОАО «Белгорхимпром» разработана технология регенерации отработанных шламохранилищ, которая дает возможность неоднократно использовать построенные емкости для складирования шламовых отходов [Сапешко и др., 2007].

Как видно из вышеперечисленных примеров, для предприятий горнодобывающей промышленности характерна проблема утилизации отходов производства и других побочных продуктов. Эти проблемы решаются по-разному. Многие способы утилизации ведут к загрязнению грунтовых вод или перераспределяют ЗВ с участка добычи на другие территории и компоненты природной среды.

Сходные проблемы характерны и для Соликамско-Березниковского промузла в бассейне р. Камы, основанном на разработке одного из крупнейших в мире Верхнекамском месторождении калийных и магниевых солей (ВКМКС). Основным источником формирования загрязнения на рассма-

триваемой территории являются фильтрационные разгрузки от шламохранилищ, солеотвалов, рассолосборников, прудов-накопителей дождевых и сточных вод. В силу специфики промышленного производства в данном районе основными компонентами загрязнения сточных вод – как декларируемых точечных, так и неточечных – являются макрокомпоненты: минеральные соли, в первую очередь хлористые натрий, калий, магний. Поэтому достаточно эффективным показателем техногенного воздействия в данном районе являются хлориды.

Зона деятельности калийных предприятий ВКМКС простирается вдоль левого берега р. Камы (Камского водохранилища), которая в этой зоне течет с севера на юг, от р. Усолки на севере до р. Яйвы на юге. В этой зоне все реки, за исключением р. Камы и р. Яйвы, относятся к малым. Самая крупная из них – р. Усолка с площадью водосбора 506 км², вторая – р. Зырянка с площадью водосбора 365 км². Остальные малые реки данной территории или совсем не упоминаются в [Гидрологическая..., 1966], или по ним не указаны морфометрические характеристики. Однако именно по малым водотокам фильтрационные разгрузки поступают в Камское водохранилище.

Анализ данных наблюдений на гидрорежимных пунктах показал, что на участках промплощадок, вблизи солеотвалов или в ореоле засоления по пути фильтрации от емкости-накопителя к поверхностному водному объекту отмечается устойчивое засоление вод (от 2,7–6,4 до 118–206 г/л); в составе вод преобладают ионы хлора и натрия либо магния. При этом минерализация воды в этих скважинах с 1998 по 2015 гг. практически не меняется.

Проведенные предварительные оценки для территории активного освоения одного из крупнейшего в мире Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей показали, что не декларируемое диффузное загрязнение значительно превышает интенсивность декларируемых точечных источников загрязнения. Данное обстоятельство обусловлено прежде всего особенностью современных технологий выработки калийных удобрений, извлечением на земную поверхность значительных объемов водорастворимых горных пород, хранением на поверхности большого количества жидких и твердых отходов производственных процессов. Действующая система регламентации жестко ориентирована только на точечные декларируемые источники загрязнения, не направлена на минимизацию общего техногенного воздействия на водный объект, а только на минимизацию его декларируемой составляющей.

Проведенный обзор состояния калийной промышленности за рубежом показал, что в сходных природно-климатических условиях отечественные предприятия характеризуются значительно большим, порядка трех раз, удельным объемом избыточных рассолов, образующихся при производстве калийных удобрений. Необходимы совершенствование системы обогащения, переход на комбинированную, безводную технологию обогащения.

1.1.3.5 Землечерпание и переработка берегов

Землечерпание, связанное с добычей нерудных строительных материалов на подводных карьерах, прокладкой трубопроводов, подводных коммуникаций, дноуглублением с целью судоходства и другими видами деятельности, является одним из распространенных антропогенных воздействий на водные объекты (рис. 1.8). Разнообразие условий, в которых находятся эти объекты, масштабы проведения работ, использование тех или иных технологических решений при землечерпании приводят к однонаправленным, хотя и разномасштабным последствиям для качества вод и экологического состояния водных объектов.

Процесс землечерпания прежде всего связан с увеличением мутности воды, поступлением загрязняющих, в том числе органических, веществ из донных отложений и тонкодисперсных взвесей, что может способствовать быстрому развитию патогенных микроорганизмов и ухудшению санитарно-гигиенического состояния водной среды. К нежелательным эффектам относится также вынос биогенных элементов, особенно азота и фосфора, способствующих развитию процессов эвтрофирования озер и водохранилищ. Взмучивание донных отложений приводит также к резкому снижению концентрации растворенного в воде кислорода. Так, в местах слива пульпы наблюдается уменьшение содержания кислорода на 80% по сравнению с фоновым, но при этом, однако, носит локальный характер. При проведении дноуглубительных работ может происходить локальное загрязнение вод тяжелыми металлами. Взмучивание донных отложений и поступление взве-



Рис. 1.8. Работа земснаряда

шенных веществ в воду при дночерпательных работах может также изменять соотношение взвешенной и растворенной форм тяжелых металлов в водной среде, активизировать процессы седиментации, менять характер круговорота элементов в водной среде. Все эти изменения влияют на трансформацию форм существования элементов и на их токсикологические свойства.

Основная опасность дночерпательных работ состоит в образовании облака растворенных и взвешенных ЗВ, особенно при вскрышных работах, поскольку в среднем от 60 до 80% микроэлементов накапливаются в слое толщиной 10 см. Размеры загрязненного облака в значительной степени определяются толщиной слоя илистых отложений и концентрацией элементов в них, а также гидродинамическими условиями в районе работ. Как показывают данные наблюдений, мелкодисперсные частицы могут транспортироваться на значительные расстояния, хотя их концентрация с удалением от места работ заметно уменьшается, во всяком случае, до уровня, наблюдаемого при естественном ветровом взмучивании донных отложений, что связано с такой важной характеристикой черпаемого, как осаждаемость. Большинство ЗВ в черпаемых материалах имеют тенденцию к осаждению. При погрузке или разгрузке осадки находятся первоначально во взвешенном состоянии в воде. Скорость осаждения определяется исходным составом и природой отложений, методом добычи и гидродинамическими условиями водного объекта.

Одним из видов дночерпательных работ является подводная добыча нерудных строительных материалов (песчано-гравийной смеси), которая в течение многих лет проводилась на Иваньковском водохранилище. Для выяснения экологических последствий этой деятельности и возможных изменений качества воды Институт водных проблем РАН начиная с 1980-х годов проводил детальные натурные исследования, которые включали измерение гидрофизических характеристик, гидрохимических и гидробиологических показателей, изучение морфометрических характеристик водохранилища в районе проведения работ.

Исследования, в частности, показали, что на изменение размеров облака мутности значительное влияние могут оказывать термическая стратификация, а также скорости ветра и внутриводоемных течений. Так, в штилевых условиях диаметр пятна мутности в поверхностном слое водохранилища сокращался до 10–15 м, что было связано с более низкой температурой воды, стекающей с баржи, и ее быстрым погружением вместе со взвесью. В этих условиях максимум концентрации взвешенных веществ всегда наблюдался в придонном слое. В условиях жаркой безветренной погоды избыточная взвесь оседала на расстоянии 150–200 м от земснаряда. При скорости ветра до 4–6 м/с влияние земснаряда прослеживалось на расстоянии до 500 м.

Из приведенных данных следует, что при работе земснаряда на водохранилище взвешенные частицы разносятся по акватории на относительно не-

большое расстояние, что обусловлено малыми скоростями течения. При этом после прекращения работы земснаряда довольно быстро происходит восстановление первоначальной концентрации взвешенных частиц.

Содержание нефтепродуктов в радиусе 400–500 м от земснаряда могло быть как выше, так и ниже фоновых концентраций, характерных для Ивановского плеса, которые, в свою очередь, превышали ПДК (0,05 мг/л) в среднем в два раза.

Анализ содержания тяжелых металлов в воде показал, что их концентрация в зоне действия земснаряда возрастает незначительно по сравнению с фоном и колебаниями по водохранилищу. Даже в те годы, когда антропогенная нагрузка на водоем в виде промышленных сточных вод была высока, процесс дночерпания не сопровождался повышением концентрации меди в окружающих водных массах. Более сложная картина наблюдалась по цинку, однако в то время даже его фоновая концентрация в три раза превышала ПДК (0,01 мг/л), а в зоне влияния земснаряда концентрация цинка изредка повышалась, а часто была ниже фоновой. По данным натурных исследований, на участках проведения дночерпательных работ наиболее заметное загрязнение вод взвешенным веществом отмечается в зоне слива с баржи. Например, содержание фосфора в сливающейся воде в 2–5 раз превышало его содержание в районе работы земснаряда. Данное влияние прослеживалось на акватории в радиусе 300–500 м. Аналогичная картина была также отмечена для аммонийного азота и органических веществ по ХПК. В последующем взвешенные частицы оседают, что приводит к заиливанию близлежащих нерестилищ.

Помимо непосредственного влияния на качество воды, дночерпание также может оказывать угнетающее влияние на биоту. Так, при высоком содержании взвеси в воде нарушается функционирование планктонных организмов (фито- и зоопланктона). Поскольку при проведении добычи нарушается рельеф дна, структура грунта, изымаются со своих биотопов организмы, это отрицательно влияет на состояние донной фауны. Было показано [Ивановское..., 2000; Немировская и др., 2008; Бреховских и др., 1998; Волкова, Бреховских, 2011], что дночерпательные работы влияют на структуру биоценозов, что, в целом, может способствовать ослаблению устойчивости экосистемы в зоне проведения работ. Для оценки негативного воздействия дночерпательных работ на экосистемы морских вод используются так называемые экологически толерантные пороги (ЭТП). Эти критерии качества морской воды по условиям содержания взвешенных веществ разработаны для открытых вод, шельфовой зоны, барьера река-море (приустьевые зоны) и мелководных районов (заливы, бухты, лиманы и др.) Наибольшую опасность для водных биоценозов в районе дночерпания представляют токсичные вещества, к которым относятся упомянутые выше тяжелые металлы, а также углеводороды нефтяного происхождения, пестициды и другие хлорорганические соединения [Windom, 1972; Волкова, Песочинский, 1981].

Углеводороды со средним весом обладают достаточно высокой растворимостью, поэтому при взмучивании богатых нефтепродуктами отложений может наблюдаться повышение их содержания в воде. В ряде случаев опасность уменьшается за счет того, что ряд этих веществ все же сорбируется на частицах грунта и, в конечном итоге, осаждается на дно [Патин, 2000; 2001]. Исследования придонных слоев морских вод показали, что высокое содержание взвесей, образующихся при нарушении донных отложений, может оказывать негативное влияние на зоопланктон. Подобное воздействие потенциально может наблюдаться и для подвижных форм макрозообентоса, однако они имеют возможность уходить из зоны образования мутьевого облака со значительным содержанием взвешенных веществ. Рыбы, а также закрепленные на донном субстрате беспозвоночные, более адаптированы к периодическим повышениям концентраций взвесей и другим литодинамическим явлениям. Как показывает анализ работ различных исследователей [Кокуричева и др., 1981], не существует, да и не может существовать общего критерия по мутности для различных видов гидробионтов, поскольку они по-разному реагируют на повышение содержания взвешенных веществ. По-видимому, наиболее чувствительной в этом смысле является икра рыб, хотя и здесь указываются различные предельные нормы. В меньшей степени подвержены влиянию повышенной мутности личинки и мальки рыб. Разный отклик водных организмов на увеличение мутности, а также разное содержание сорбированных на взвеси ЗВ сказывается на отсутствии биологически обоснованных ПДК для сброса взвесей в водоемы. Поэтому в данном вопросе обычно исходят из некоторых более общих представлений. Так, считается, что содержание взвешенных веществ в водоеме рыбохозяйственного назначения не должно превышать 25 мг/л. Для водоемов, где происходит нерест, мутность воды не должна превышать бытовую более чем на 0,75 мг/л [Лесников, 1975]. В то же время среднее природное содержание взвешенных веществ в воде весной составляет 30–70 мг/л, а летом и осенью колеблется в пределах от 3 до 12 мг/л, поэтому в этих условиях даже при локальном увеличении концентрации взвешенных веществ в несколько раз по сравнению с фоновой водоем в целом все еще будет оставаться в пределах реальных норм жизнедеятельности.

Следует отметить, что само по себе увеличение мутности воды не всегда может являться однозначным критерием антропогенного загрязнения. В прибрежных водах, например, увеличение этого показателя за счет ветрового взмучивания может быть весьма ощутимым и сопоставимым с мутностью за счет землечерпания.

В общем случае распространение взвешенных веществ в водном объекте зависит от проточности, гидрометеорологических условий, гранулометрического состава взвешенных веществ, условий осаждения взвеси и других гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик. Например, исследованиями, выполненными на речном участке р. Волги в ее нижнем течении (от Волгограда до Астрахани), доказано, что повышенная

концентрация взвешенных веществ четко улавливается на удалении в 5,0 км от места производства работ.

Дноуглубительные работы производятся в основном земснарядами, осуществляющими размыв грунтов и отвод пульпы в прибрежную зону, а в случае, если дно реки сформировано песком, то его могут грузить в баржи и транспортировать в порты с последующим использованием в строительной индустрии. Глубина всасываемого слоя при работе земснаряда зависит от его производительности и составляет от 0,2 до 5,0 м. В случае, если в зоне работы земснаряда происходит скат молоди рыб и особенно осетровых, которые катятся в придонном слое, то часть молоди может попасть в насос земснаряда и погибнуть. По данным исследований, выполненных на р. Волге на участке от Волгограда до Астрахани, при ежегодной работе 2–3 земснарядов общий ущерб только осетровому хозяйству Каспийского бассейна по промысловому возврату составил около 111 ц осетра и 6 ц севрюги.

Переработка берегов весьма существенно и негативно сказывается на качестве воды в водохранилищах. Вместе с обрушающимися массами грунта в воду попадают почвенные частицы, содержащие гумус и сорбированные на них загрязнения. Обрушение берегов увеличивает мутность воды, приводит к образованию мелководных участков, богатых органическим веществом. Это, в свою очередь, вызывает излишний прогрев воды и более интенсивное разложение органики, приводящее к снижению содержания растворенного кислорода, зарастанию и заболачиванию прибрежных участков.

Следует отметить, что переработка берегов – это неизбежный процесс, сопровождающий создание и эксплуатацию водохранилища. С течением времени он постепенно затухает и стабилизируется, когда новый уровень воды и берега приходят в новое равновесное состояние. Но на ряде Волжских водохранилищ ожидаемая стабилизация не прослеживается. Береговая эрозия происходит под воздействием как антропогенных, так и природных факторов, которые в настоящее время достаточно хорошо изучены и, так или иначе, поддаются объективному контролю. Современные методы расчета позволяют оценить величины многих таких воздействий и прогнозировать их на участках берега, которые подвержены размыву.

По некоторым оценкам [Дебольский, 2000], протяженность береговой линии, подверженной разрушению, составляет от 23,8% – у Иваньковского до 64,3% – у Волгоградского водохранилища. В результате переработки берегов общие потери земель в плане составили более 40 тыс. га, в том числе 13,5 тыс. га на Куйбышевском водохранилище. На Угличском водохранилище, созданном более 75 лет назад, процесс переработки берегов на ряде участков общей протяженностью порядка 130 км этот идет по-прежнему активно. Фактическое отступление берега здесь уже превысило расчетные значения «конечной стадии» более чем в два раза и продолжает развиваться. В многоводные годы берег на этих участках отступает почти на 1 м. Таким образом, ежегодно в результате переработки берегов в водохранилище обрушается порядка 650 тыс. м³ грунта.

В целом из 16,2 тысяч км береговой полосы Волжско-Камского каскада более 1200 км берегов требуют немедленного осуществления защитных мероприятий. Особенно интенсивно разрушаются берега в нижних бьефах ГЭС, осуществляющих энергетические попуски. Катастрофическое положение сложилось, например, в нижнем бьефе Рыбинского гидроузла: из 40 км береговой полосы в пределах г. Рыбинска интенсивно разрушаются 13 км, что уже привело в аварийное состояние несколько многоэтажных жилых домов и промзданий, к деградации природных заказников и т.п.

К природным процессам переработки берегов следует отнести:

- *ветровые волны*, которые размывают дно и основания береговых откосов;
- *размыв склонов тальми и дождевыми водами*, что ведет к образованию промоин;
- *водонасыщение оползневых массивов* за счет инфильтрации атмосферных и грунтовых вод в связи с «утяжелением» массива и снижением механических характеристик, что приводит к активизации образования оползней;
- *фильтрационно-суффозионные процессы*, сопровождающиеся высачиванием грунтовых вод на поверхность откосов и выносом под действием гидродинамических сил минеральных частиц, что создает ослабленные зоны в береговом массиве и приводит к формированию поверхностей скольжения;
- *периодические процессы промерзания-оттаивания склонов*, которые приводят к нарушению структуры грунтов, переувлажнению промерзающей зоны, ухудшению механических характеристик, увеличению градиентов фильтрации в нижней части массива и фильтрационной суффозии.

Антропогенные процессы включают:

- *периодические высокоамплитудные колебания уровня воды*, которые связаны с *эксплуатацией гидротехнических сооружений* при пропуске половодий и дождевых паводков, выработке электроэнергии, шлюзовании и проч.;
- *стоковые течения*, которые наиболее активно действует в период предпаводковых сбросов воды из водохранилищ, а также течения (более слабые) в остальной период времени.
- *волны от движения судов*, которые, как и ветровые волны, не только размывают массив грунтов, но и могут при определенных условиях уносить продукты переработки на значительные расстояния;
- *подрезка склонов, строительство на бровках откосов, дноуглубительные работы*.

Интенсивность указанных выше процессов во многом определяется климатическими условиями, особенностями рельефа берега, механическим составом грунтов, местоположением разрушающегося участка относительно фарватера, морфометрическими особенностями водного объекта, общей антропогенной нагрузкой, наличием или отсутствием объективно-

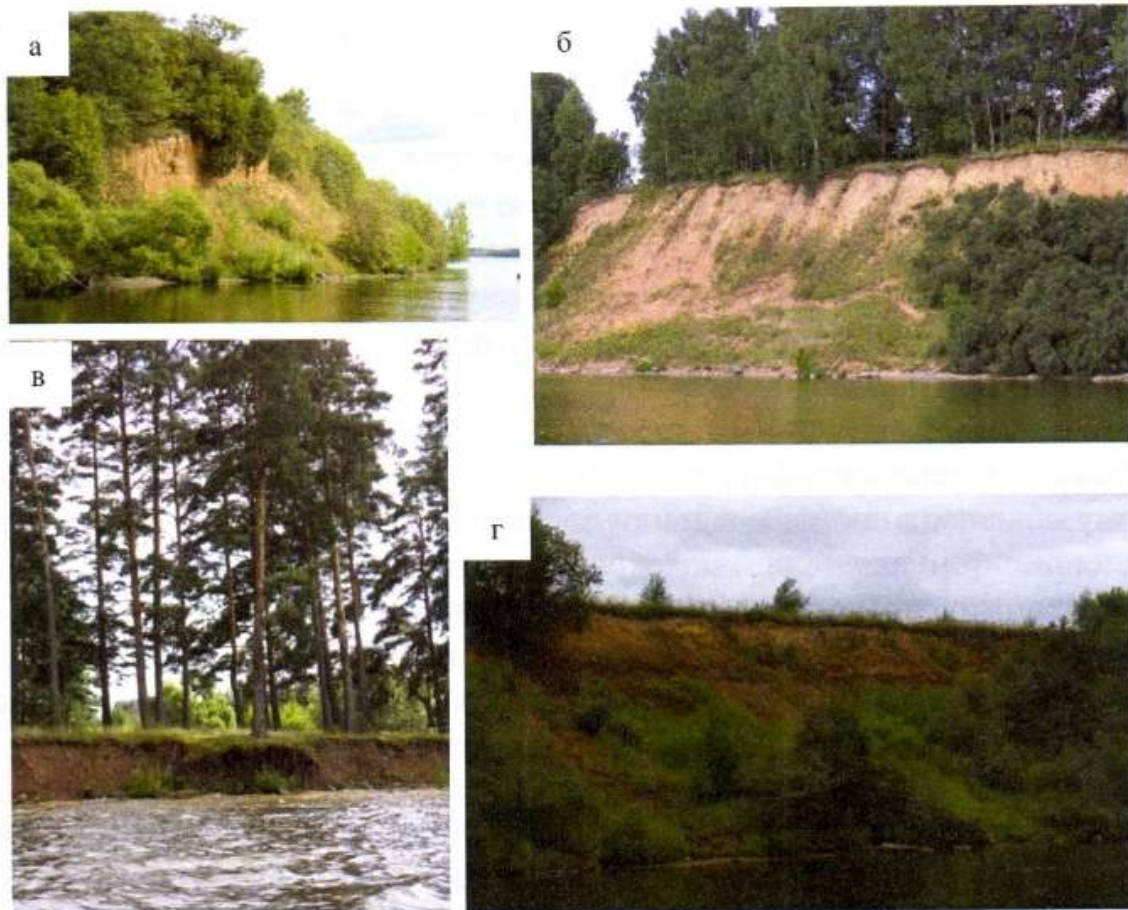


Рис. 1.9. Некоторые типы эрозии берегов на Угличском водохранилище на р. Волге
 а – обрушение по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения;
 б – промоины в результате сосредоточенного движения по склону атмосферных вод;
 в – разрушения невысоких берегов ветровыми и судовыми волнами;
 г – сползание водонасыщенного грунта

го мониторинга, а также полнотой и своевременностью принимаемых защитных мер.

Разрушение берегов, происходящее при сочетании многообразных воздействий, факторов и условий, в свою очередь, обуславливает многообразие форм разрушения берегов, описание которых на хорошо изученных примерах Угличского водохранилища изложено в работе (рис. 1.9) [Королев и др., 2017].

1.1.3.6 Коттеджно-дачная застройка и рекреационное водопользование (на примере Иваньковского водохранилища)

В последние десятилетия нарастает новый тип антропогенной нагрузки диффузного характера в береговой зоне водоемов, и особенно источников водоснабжения – коттеджно-дачная застройка. Причем самым освоенным и застроенным оказался непосредственно берег водоема – водоохранная зона – территория, примыкающая к акваториям рек, озер, водохранилищ и других поверхностных водных объектов, на которой устанавливается специальный

режим хозяйственной и иных видов деятельности с целью предотвращения загрязнения, заиления и истощения водных объектов, а также сохранения среды обитания объектов животного и растительного мира.

Иваньковское водохранилище является самым крупным водоемом, расположенным в 130 км от Москвы, имеет высокую рекреационную привлекательность и в начале 90-х гг. начался стихийный строительный стихийный бум практически по всему периметру водного зеркала [Гордин и др., 2006]. Также этот водоем имеет статус главного источника водоснабжения мегаполиса.

Обследование берегов водохранилища также показывает, что наиболее интенсивно осваивается территория, непосредственно примыкающая к водному объекту, а иногда – и земли водного фонда, которые подвержены затоплению при наполнении водохранилищ до проектных отметок. Следует отметить, что этому способствует слабое водоохранное законодательство РФ, которое на сегодняшний день не отвечает необходимым требованиям предотвращения загрязнения, заиления и истощения водных объектов, а также обеспечения гидроэкологической безопасности водопользования.

Освоение берега под частную застройку обусловило развитие традиционного неорганизованного туризма на ограниченных участках, примыкающих к акватории водоема. Неконтролируемая с нарастающей плотностью заселения коттеджно-дачная застройка и многочисленные туристические стоянки стали причиной новых возникших проблем экологического характера и резко усугубили качественное состояние водоема.

По официальной статистике Конаковского района, в пределах которого расположена акватория Иваньковского водохранилища, число дачных хозяйств за последние 20 лет увеличилось в 5 раз, занимаемая площадь составляет около 3000 га [Постановление ..., 2008].

Одна из первых и опасных проблем застройки – отсутствие элементарной канализационной системы, практически полностью хозяйственно-бытовой слив из построек (в том числе и бань) идет прямококом в водохранилище [Кирпичникова, Куприянова, 2003].

На берегу водоемов возникли многочисленные эллинги, лодочные стоянки, ремонтные мастерские. В этих местах могут наблюдаться проливы горюче-смазочных средств и резко возрастать концентрации нефтепродуктов. Интенсивное движение маломерного водного транспорта способствует размыву берегов и уничтожению естественных нерестилищ: начало интенсивного использования моторных лодок и водных мотоциклов наблюдается с начала мая во время нереста. Маломерный водный транспорт создает также дополнительный привнос в водоем тяжелых металлов и нефтепродуктов.

Условия масштабного строительства и постоянный рост цен на строительные материалы толкают владельцев участков на поиск дешевых строительных материалов. Это послужило причиной многочисленных случаев раскорчевки лесных массивов (в основном сосновых) и образованию в этих местах песчаных карьеров. Варварская добыча песка создала чрезвычайно

опасную экологическую ситуацию: исчезает лес, а песчаные карьеры молниеносно заполняются бытовыми отходами и превращаются в несанкционированные свалки. Последние, как правило, расположены по границам дачных кооперативов и коттеджных поселков. В местах свалок наблюдается скопление мышей, крыс, бродячих собак, кошек, птиц. Больные животные могут стать причиной вспышек различных эпидемий. Стихийно возникшие свалки из-за невозможности вывоза иногда ликвидируются путем сжигания, что служит причиной пожаров, особенно в засушливые годы.

Коттеджно-дачная застройка также сопровождается стихийной добычей камнещебеночного материала в руслах малых рек и временных боковых водотоков, что в свою очередь, приводит к деградации речной сети и исчезновению ручейковой сети. Это объясняется следующим образом: в период летней межени обнажаются твердые породы ложа притоков, которые используются в строительных целях. В результате происходит размыв русел и вынос взвешенных наносов в водоем. Таким образом, происходит заиление заливов, ухудшаются условия для нереста и нарушается внутренний водообмен.

По результатам геоэкологического мониторинга береговых зон, дешифрирования космических изображений проведено районирование водосборов боковых притоков Ивановского водохранилища по степени антропогенной нагрузки с выделением ненарушенных (ООПТ, леса, болота), слабо нарушенных (луга, сенокосы, пастбища), интенсивно нарушенных земель (пашни, селитебные территории), определены их площади и соответствующие модули выноса ЗВ [Кирпичникова, Курбатова, 2018].

Загрязнение водоемов от данного источника загрязнения носит импульсный характер и проявляется резким всплеском концентраций во время интенсивных дождей в летний период. Идентифицировать загрязнение водоема с поверхностно-дренажным стоком застроенной береговой зоны водохранилища является крайне сложной задачей. Специальный мониторинг с постворными наблюдениями и учащенным отбором проб воды на Ивановском водохранилище и в устьях боковых притоков в дождливое лето 1998 г. выявили резкое повышение концентраций многих гидрохимических показателей: хлоридов, сульфатов, аммонийного и нитратного азота, перманганатной окисляемости, БПК₅ [Кирпичникова, 2000]. Анализ проведенных исследований показал, что это связано непосредственно с выносом ЗВ с антропогенно-нагруженных береговых участков водохранилища. В мелководных заливах, подверженных воздействию смыва с удобряемых дачных участков, практически ежегодно наблюдается катастрофическое цветение сине-зеленых водорослей.

Рекреационное водопользование объединяет многие виды отдыха, различающиеся сезонами максимальных нагрузок, интенсивностью использования природных комплексов, путями, характером и объемами загрязнений, поступающих в реки и водоемы [Авакян и др., 1986].

Воздействие рекреации на водные объекты может осуществляться как прямым путем (утечка ГСМ и нефтепродуктов, купание и смыв загрязнений с тела человека, мойка автомашин, прикормка при рыбной ловле, образова-

ние пищевых отходов, хозяйственно-бытовых отходов и фекалий), так и косвенным (вторичное загрязнение при взмучивании донных отложений, поступление загрязнений с рекреационных территорий как с поверхностным, так и с подземным стоком и т.д.). По основным последствиям все виды воздействия можно объединить в две группы: виды отдыха с преимущественным использованием территории и виды отдыха с преимущественным использованием акватории [Григорьева и др., 2000; Ланцова и др., 2004]. К первой группе относятся организованный отдых в учреждениях отдыха, стационарный и неорганизованный пеший туризм, пикники, осмотр местности, отдых с использованием автотранспорта и т.п. Во вторую группу входят купание, отдых с использованием маломерного моторного флота, байдарок и яхт, рыболовство, подводное плавание, виндсерфинг и т.д. Например, неорганизованный отдых в силу своей стихийности и неравномерности пространственно-временного распределения нагрузок, а также вследствие отсутствия элементарного санитарно-инженерного обустройства оказывает более сильное влияние на качество воды, чем организованный.

Важно также отметить, что все виды отдыха у воды и на воде тесно взаимосвязаны и представляют собой смену рекреационных занятий в течение дня.

Исследования рекреационного использования водных объектов позволило дать характеристику видам рекреационной активности (табл. 1.4). Так, отдых с использованием подвесных лодочных моторов, отдых на парусных и весельных судах, рыболовство с лодки используют только акваторию водных объектов. Такие виды отдыха, как купание, водные виды спорта, подводная охота, охота на водоплавающую дичь, рыболовство (со льда и с берега) затрагивают как акваторию водоемов, так и их береговую зону.

Таблица 1.4

Характеристика видов рекреационной активности

Вид рекреации	Использование видов природных комплексов (А – аквальный; Т – территориальный)	Сезон водопользования	Вид загрязнений	
			При отсутствии обустройства зон отдыха и низкой культуре водо-пользования	При обустройстве зон отдыха и высокой культуре водо-пользования
Отдых с использованием судов с ПЛМ	А	весна–лето–осень	Б–Орг.–Х	Б–Х
Отдых на парусных и весельных судах	А	весна–лето–осень	Б–Орг.	Отсутств.
Рыболовство с лодки	А	весна–лето–осень	Б–Орг.	Орг.
Купание	А–Т	лето	Б–Орг.	Б
Водные виды спорта	А–Т	лето	Б–Орг.	Б

Подводная охота	A-T	лето	Б-Орг.	Б
Охота на водоплавающую дичь	A-T	осень	Б-Орг.	Отсутств.
Рыболовство со льда	A-T	весна-осень-зима	Б-Орг.	Орг.
Рыболовство с берега	T-A	весна-лето-осень	Б-Орг.	Орг.
Стационарный неорганизованный отдых (более 3-х дней)	T	весна-лето-осень	Б-Орг.-X	X
Кратковременный неорганизованный отдых	T	весна-лето-осень	Б-Орг.	Отсутств.

Многолетние натурные исследования на ряде водных объектов, расположенных в различных природно-климатических зонах и интенсивно используемых в рекреационных целях, позволили провести экспертную оценку воздействия отдельных видов рекреации на береговые и аквальные экосистемы водоемов и водотоков (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Оценка воздействия видов отдыха на береговые и аквальные комплексы водных объектов [Ланцова и др., 2004]

Виды отдыха	Оценка воздействия (в баллах)			
	На береговые комплексы	На аквальные комплексы		Сумма баллов
		Гидробиоценозы	Качество воды	
Стационарный неорганизованный туризм**	3*	3	3	9
Отдых с использованием автотранспорта	3	1	2	6
Пеший туризм	3	1	1	5
Сбор грибов и ягод	3	0	0	3
Рыболовство с берега	1	1	1	3
Охота на водоплавающую дичь	1	2	1	4
Отдых с использованием маломерного моторного флота	2	3	3	8
Купание	1	2	2	5
Парусный спорт и виндсерфинг	0	1	1	2
Байдарочный спорт	0	1	1	2
Рыболовство с лодки	0	1	2	3
Рыболовство со льда	1	1	3	5

* Воздействие оценивалось по 4-балльной шкале: 3 балла – сильное воздействие; 2 балла – существенное; 1 балл – незначительное; 0 баллов – воздействие отсутствует.

** Стационарный туризм включает комплекс видов отдыха, но в данном случае рассматривается как вид, связанный с довольно длительным проживанием отдыхающих на ограниченной площади и с осуществлением ими хозяйственно-бытовой деятельности, отличающейся особым характером, интенсивностью и путями поступления загрязнений.



Рис. 1.10. Примеры негативного воздействия на водные объекты от рекреационного водопользования

Характер и виды воздействия также существенно отличаются при разных видах рекреационного природопользования (табл. 1.6).

Наиболее сильное воздействие на береговые и аквальные комплексы водохранилищ оказывают такие виды отдыха, как стационарный неорганизованный туризм, использование автотранспорта и маломерного моторного флота, рыбная ловля (рис. 1.10). Прямое и косвенное отрицательное воздействие видов рекреации на аквальные и береговые экосистемы обнаруживают сложные причинно-следственные связи (прямые и обратные). Нередко косвенное воздействие по своим последствиям превышает прямое воздействие.

Значительное рекреационное водопользование на Иваньковском водохранилище объясняется несколькими причинами, в первую очередь живописной природой и обширными водными пространствами как самого водохранилища, так и его притоков, хорошей транспортной доступностью и близостью к такому крупному мегаполису, как Москва, развитой инфраструктурой, особенно на правобережье, удовлетворительным в целом экологическим состоянием региона.

Таблица 1.6

Характер и виды воздействия рекреационного водопользования на водные объекты

Виды отдыха	На береговые комплексы	На аквальные комплексы	
		Гидробиоценозы	Качество воды
Стационарный туризм	Угнетение растительности и уничтожение деревьев, нарушение структуры и уплотнение почв, усиление плоскостного смыва	Угнетение высшей водной растительности; изменение видового и численности гидробионтов	Поступление нефтепродуктов, ЗВ от купания, мытья посуды, стирки, взмучивание донных отложений.
Пеше-водный туризм	Формирование локальных участков с вытоптанной травой, ослабленными деревьями, уплотненной почвой, органическими и иными отходами	Угнетение высшей водной растительности; изменение видового и численности гидробионтов	Поступление загрязнений в результате эрозийных процессов и с берега

Сбор грибов и ягод	Угнетение растительности, уплотнение почв,		Усиление плоскостного смыва, увеличение мутности и органики
С использованием автомототранспорта	Нарушение травостоя, уплотнение почв, усиление эрозионных процессов на отдельных локациях и участках линейной протяженности	Угнетение высшей водной растительности, снижение самоочищающей способности	Поступление нефтепродуктов при мытье машин, взвешенных веществ в результате усиливающейся эрозии
Любительское рыболовство	Угнетение растительности, изменение структуры почв, образование свалок хоз. бытовых отходов на отдельных участках	Изменение численности гидробионтов, угнетение высшей водной растительности	Органическое и бактериальное загрязнение (органические остатки, прикорм рыбы, фекалии), увеличение мутности
Охота на водоплавающую дичь	Угнетение растительного покрова в местах троп, засидок и ночевок	Изменение состава зооценозов и численности гидробионтов	Поступление продуктов жизнедеятельности человека
Купание	Вытаптывание и загрязнение пляжной зоны, обрушение берегов	Уничтожение высшей водной растительности, изменение видового и количественного состава гидробионтов	Поступление органики и бактериальное загрязнение, увеличение мутности
С использованием маломерного флота	Обрушение и размыв берегов	Деградация нерестилиц, снижение видового состава гидробионтов	Поступление нефтепродуктов и канцерогенных веществ, взмучивание донных отложений

Из 183 км береговой зоны только 65% пригодны для рекреационного водопользования. Из них 29% пригодны для отдыха с использованием акватории и побережья, и 36% – для отдыха с использованием только акватории. Более 35% береговой линии водохранилища не пригодны для рекреационного использования вследствие антропогенного фактора и природных условий [Авакян и др., 1983]. Благоприятные для рекреационного использования участки испытывают довольно значительные антропогенные нагрузки, что приводит к развитию процессов рекреационной дигрессии береговых и аквальных комплексов водохранилища. На Иваньковском водохранилище и его берегах широко развиты такие виды отдыха, как купание, любительское рыболовство (особенно в зимний период), отдых с использованием маломерных судов (моторные лодки, катера, яхты, байдарки) и автотранспорта, сбор грибов, ягод и растительного сырья (лечебные травы), лыжные и велосипедные прогулки и походы и т.д.

Купание как массовый вид отдыха вносит свой вклад в микробиологическое, биогенное и вторичное загрязнение водоема. Так, по [Соловьева, 1953] человек в течение 10-минутного купания вносит в воду свыше 3 млрд сапрофитных бактерий и от 100 тыс. до 20 млн кишечных палочек. Кроме микробного загрязнения, каждый купающийся вносит в во-

доем в среднем 75 мг общего фосфора и 695 мг общего азота [Шамардина, 1975].

Исходя из этого в летний сезон 2011 г. при нагрузке на городской пляж г. Конаково в 200 тыс. чел./дней привнос веществ в водохранилище составил: по азоту – 140 кг, по фосфору – 15 кг. Учитывая, что нагрузка на Ивановское водохранилище составляет порядка 2,5 млн чел.×дней, от купания в водохранилище может поступить до 1750 кг азота и 188 кг фосфора. В некоторых работах [Ланцова и др., 2005] показано, что максимальные поступления общего азота и фосфора составляют 900 и 100 кг соответственно, что соизмеримо с поступлением этих веществ в водохранилище с очищенными сточными водами г. Твери за 3 часа. Можно констатировать, что, хотя влияние купания на водоем кратковременно и локально, этот вид отдыха вносит дополнительную нагрузку по биогенным элементам, взвешенным веществам и бактериальному загрязнению и другим веществам, которая может быть весьма ощутима на отдельных локальных участках акватории водохранилищ (табл. 1.7) [Григорьева, Чекарева, 2013].

Таблица 1.7

Показатели качества воды в районе пляжей (1) и в русловой зоне (2) Ивановского водохранилища в июле 2003 г.

Место отбора		Нагрузка на пляж, человек	Сульфаты, мг/дм ³	Нитритный азот, мг/дм ³	Общий фосфор, мг/дм ³
Б/о «Верхневолжская»	1	122	29,4	0,012	0,100
	2		17,6	0,008	0,066
П-т «Энергетик»	1	60	10,4	0,009	0,076
	2		15,4	0,006	0,059
Пляж г. Дубна	1	215	9,2	0,007	0,060
	2		1,0	0,006	0,050

Любительское рыболовство – один из видов рекреационного водопользования водохранилищ. Летом ловля рыбы чаще всего осуществляется с использованием маломерных судов (до 90%) [Авакян и др., 1983]. В зимний период за день Ивановское водохранилище могут посетить, по нашим расчетам, до 5 тыс. человек в будний день и 6–10 тыс. человек в выходной день. Количество рыболовов-любителей за зимний сезон может составить порядка 180000 человек, в летний период – не более 40000 человек. Исходя из результатов ряда исследований [Григорьева и др., 2000; Ланцова и др., 2004] можно заключить, что количество рыбаков-любителей на водохранилище остается на уровне 1980-х гг., а максимальное их количество наблюдалось в 1990-е гг. Отрицательное влияние рыбалки выражается в поступлении в водохранилища различных ЗВ (продукты жизнедеятельности, органическое вещество от прикорма рыбы, хозяйственно-бытовой мусор).

В результате рекреационного использования береговой зоны водохранилищ существенно изменяются почвенно-растительные условия береговых комплексов. Уплотнение и истирание верхнего горизонта почв, нарушение (и ли уничтожение) травяного покрова изменяют интенсивность и характер плоскостного смыва с территории и просачивание осадков и их прохождение по почвенному профилю, а следовательно, скорость и глубину поступления поверхностных загрязнений в почву [Рекреационное..., 1990]. В местах высокой плотности отдыхающих в береговой зоне Иваньковского водохранилища в верхних горизонтах плотность почвы увеличивается с 2,4–2,5 г/см³ до 2,7–2,8 г/см³ [Григорьева и др., 2005].

Деградация почвенного покрова происходит также при строительных работах и эксплуатации сооружений рекреационного назначения (удаление почвенного покрова при строительстве дорог и различных сооружений для отдыха). В местах интенсивной рекреационной нагрузки увеличивается содержание ЗВ в почвах по сравнению с фоновыми участками (табл. 1.8).

Таблица 1.8

Содержание в почвах береговой зоны Иваньковского водохранилища загрязняющих веществ (мг/кг), по данным И.З. Каманиной [Григорьева и др., 2005]

	Бенз(а)пирен	Zn	Pb	Cu	Hg	As
Ненарушенный лес	0,003–0,005	14–20	10–12	3,4–4,4	0,08–0,12	0,09–1,0
Лес с интенсивной нагрузкой в черте города	0,008–0,02	42–110	17–20	7,8–12,0	0,11–0,6	1,0–1,5
ПДК/ОДК	0,02	100	32	55	2,1	2

Приведенные негативные процессы, связанные с неконтролируемым освоением береговых зон, характерны для многих водоемов, расположенных вблизи крупных городов и мегаполисов. Бесконтрольность со стороны государственных органов, «умягчение» водоохранного законодательства и игнорирование возникших новых экологических проблем явно ухудшает состояние водоемов по многим показателям качества воды.

1.2 РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФфуЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

1.2.1 Методы оценки диффузного загрязнения по эмпирическим данным

Идентификация и ранжирование диффузных источников по уровню их воздействия на водные объекты являются необходимыми этапами в опре-