

затраты на восстановление параметров природно-технической системы и ликвидацию негативных последствий. Благодаря такой деятельности сохраняется и повышается экологическая безопасность функционирования мелиоративных систем.

Ключевые слова: экологическая безопасность, оценка устойчивости мелиорируемых агроландшафтов, термодинамические показатели, интенсивность энергообмена.

Список литературы

1. Будыко, М. И. Тепловой баланс земной поверхности [Текст] / М. И. Будыко. — Л. : Гидрометеоздат, 1956. — 225 с.
2. Волобуев, В. Р. Введение в энергетику почвообразования [Текст] / В. Р. Волобуев. — М. : Наука, 1974. — 128 с.
3. Кеплен, С. Р. Биоэнергетика и линей-

ная термодинамика необратимых процессов [Текст] / С. Р. Кеплен, Э. Эсиг ; пер. с англ. — М. : Мир, 1986. — 384 с.

4. Карпенко, Н. П. Энергетическая оценка состояния геосистем при проведении комплексных мелиораций [Текст] / Н. П. Карпенко, Д. А. Манукьян // Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования : науч. издание. — М. : МГУП, 2006. — С. 27–37.

5. Манукьян, Д. А. Экологическая безопасность функционирования техноприродных систем: состояние, проблемы и пути решения [Текст] : монография / Д. А. Манукьян, Н. П. Карпенко. — М.: МГУП, 2007. — 294 с.

6. Яшин, В. М. Обоснование экологически допустимых норм инфильтрационных потерь оросительной воды [Текст] / В. М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство. — 1998. — № 4. — С. 22–25.

УДК 502/504:627.83

М. Е. Вершинская, ведущий специалист

ЗАО ПО «СОВИНТЕРВОД»

В. В. Шабанов, доктор техн. наук, профессор

В. Н. Маркин, канд. техн. наук, профессор

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ЭКОЛОГО-ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОДОСБОРА И ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАССЕЙНЕ ИРТЫША

В статье рассмотрены новые подходы к определению экологического состояния водной системы (водный объект + водосбор). Впервые сделана попытка учета влияния водосбора исходя из географо-водохозяйственных позиций. Применения методики показано на примере бассейна реки Иртыш.

In clause new approaches to definition of an ecological condition of water system (water object + reservoir) are considered. For the first time attempt of the account of influence of a reservoir proceeding from geography and water-economic positions is made. Applications of a technique it is shown on an example of a river basin Irtysh.

Основные методические положения оценки потенциала активности самоочищения водосборной площади. Потенциал самоочищения природной среды водосборных площадей водных объектов можно рассматривать как интегральную экологическую оценку тех сложных процессов и явлений, которые возникают при техногенном загрязнении. Именно через определение потен-

циала самоочищения природной среды появляется возможность установить степень влияния, участия водосборных площадей в формировании эколого-водохозяйственного состояния водных объектов. Потенциал самоочищения природной среды есть потенциал ее устойчивости к техногенным воздействиям. Методическое решение данной задачи осуществляют эмпирически,

используя одно из центральных теоретических понятий — идею о структурной организации природных систем, анализируя специфику радиальной (вертикальной) и латеральной геохимической дифференциации веществ и миграционных потоков, внутрисистемных и межсистемных связей.

Экологическое состояние водного объекта определяют по двум факторам: 1) способности защиты природной среды водосборных площадей от выноса загрязняющих веществ в водные объекты и 2) способности выноса с водосбора радиальными и латеральными потоковыми структурами избыточного объема вод совместно с поллютантами в водные объекты.

Таким образом, при решении поставленной задачи ответ надо найти на два вопроса:

определить возможность и активность закрепления на водосборной площади поступивших на ее поверхность или в ее тело продуктов техногенеза — потенциал депонирования поллютантов;

определить основные типы потоков водной миграции независимыми и зависимыми мигрантами, а также степень активности их функционирования — потенциал самоочищения природной среды водосборных площадей.

Оба эти процесса взаимосвязаны и осуществляются одновременно, но зависимость второго от первого намного больше, чем первого от второго. Однако эти процессы необходимо оценивать отдельно, так как они обладают свойством эмерджентности и их нельзя суммировать.

Потенциальная активность депонирования зависит от внутренних факторов. К ним относятся: показатели активной поверхности компонентов почвенно-грунтовой массы, ее структурная организация, строение почвенного поглощающего комплекса, щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия. Для органогенных горизонтов значим ботанический состав растений, формирующих эти горизонты, и показатель степени разложения орга-

нической массы. В разных генетических горизонтах почв характер и уровень взаимодействия загрязнителей с почвенной массой меняются неоднозначно. Почвы являются активной средой (биогеохимическим барьером) на пути движения поллютантов, где осуществляется их физико-химическая, микробиологическая деструкция с последующим переносом, рассеиванием загрязнителей и продуктов их распада как по радиальным, так и по латеральным внутрипочвенным направлениям потоков.

Потенциал активности функционирования миграционных водных потоков обусловлен пространственными закономерностями процессов перераспределения, выноса, разбавления поллютантов и продуктов их распада. Именно эти потоки принимают на себя функции самоочищения природной среды водосборов с последующими процессами удаления избыточных объемов вод и поступивших в них загрязнителей за пределы своей водосборной площади.

Суммарная активность каждого из структурных элементов миграционных потоков зависит от наличия или отсутствия миграционной фазы — воды. А она, как известно, обусловлена не только атмосферными осадками, но и другими типами водного питания водосборных площадей. В то же время каждый тип миграционных потоков определяется различными факторами. Миграционная специфика радиального перемещения поллютантов зависит от гравитации, пленочно-капиллярных сил, наличия порово-трещиноватого пространства, радиальных геохимических барьеров в профиле почв и т. д.

Процессы радиальной миграции зависимых и независимых мигрантов осложняются наличием в почвах экранирующих «запирающих» геохимических барьеров, переводящих радиальные потоки в латеральные внутрипочвенные, которые впоследствии могут выйти на поверхность. Отсутствие экранирующих барьеров в почвенном профиле резко увеличивает вероятность поступления

загрязнителей в грунтовые воды с последующим возможным их выносом в линейные водные объекты. Тем самым экологический «удар» переносится с водосборной площади на водные объекты.

Резкая смена почв в почвенном покрове (степень контрастности) определяется контрастностью их латеральных геохимических барьеров, что значительно снижает возможность самоочищения водосборных площадей и сохраняет чистоту водного объекта.

Движение миграционных потоков на поверхности водосборной площади происходит по латеральным каналам связей, формирующимся по ослабленным зонам гравитационного поля той морфогенетической структуры, на которой формируются их водные бассейны в данной климатической зоне. Латеральные миграционные потоки есть естественные дренажные системы всей водосборной площади водного объекта. Их генетическое назначение в водной системе — удаление избыточных масс воды с целью поддержания гомеостаза не только в системе, но и во всех ее элементах и компонентах. Гомеостаз определяет тот структурный уровень организации водного бассейна, который может измениться только при изменении внешних природных факторов или в процессе техногенного вмешательства.

Любое техногенное вмешательство в структуру поверхностных миграционных каналов на водосборной площади влечет за собой прямую и/или обратную цепную реакцию экологических нарушений в ее природной среде, а также в конечном трансаккумулятивном водном объекте.

Каждый водоток водосборной площади находится в едином гравитационном поле с другими водотоками бассейна. Эти связи объединяют их между собой в единую геохимическую картину, обладающую информацией об экологическом состоянии всей природной среды бассейна, и наоборот, имея данные об экологическом состоянии водотока (без учета прямого техногенного

воздействия) и зная характеристики процессов самоочищения водосборной площади, можно судить о ее устойчивости к техногенным воздействиям. При этом необходимо учитывать, что в самом водотоке также происходят процессы самоочищения.

Краткая характеристика природных условий модельного бассейна. Территория бассейна реки Иртыш в пределах Российской Федерации расположена в юго-западной части Западно-Сибирской низменной равнины. Границей западного крыла бассейна служит водораздел Южного и Среднего Урала. На севере она проходит по нижнему водоразделу (положительной морфоструктуры) Сосьвинско-Тавдинского плато. На севере и северо-востоке границей бассейна является водораздел между Среднеобской низменностью и Васюганским плато. На юго-востоке она проходит по северной части Барабинской низменности, а на юге — по Ишимской равнине. Особенности климатической зоны: континентальность, неустойчивость тепло- и влагоресурсов в многолетнем и годовом разрезе. Местные климатические различия формируются за счет строения рельефа внутренних частей бассейна и характера его подстилающей поверхности. Климатические показатели за теплый период представлены в табл. 1.

Наиболее высокие орографические элементы в рельефе территории бассейна реки Иртыш следующие: Зауральское, Сосьво-Тавдинское, Васюганское плато. Они образуют высокую ступень котловины, где поверхности имеют пологоволнистый и грядоволнистый характер со средними абсолютными отметками от 170 до 190 м. К средней ступени следует отнести Ишимскую равнину, преобладающие абсолютные отметки которой изменяются в интервале 140...150 м. Для этой равнины характерны плоские поверхности с развитым мезо- и микрорельефом. Наиболее низкую часть рельефа бассейна Иртыша составляют Тобол-Иртышская и Барабинская низменности.

Таблица 1

Основные показатели климата за теплый период года в бассейне реки Иртыш

Природные зоны и подзоны	Радиационный баланс (V–VIII) ккал/см ²	$\Sigma_t \geq 10^\circ$	Испаряемость, мм	Атмосферные осадки, мм	Гидротехнический коэффициент
Средняя тайга	17...19	> 1600	300...400	500...550	> 1,4
Южная тайга	19...21	1600...1700	400...450	550...500	1,4...1,3
Подтайга	21...23	1700...1800	450...500	500...450	1,3...1,2
Лесостепь	23...24,5	1800...1900	500...550	450...400	1,2...1,0
Северная часть степи	24,5...26	1900...2000	550...600	450...350	1,0...0,9

Особенности речных долин довольно значительно влияют на гидрогеологические условия водосборных площадей. Территория бассейна реки Иртыш характеризуется сложными, неравномерными элементами рельефа по условиям естественного дренирования и водного режима почвогрунтовой толщи, неоднородностью литологического состава. Как правило, степень естественного дренирования незначительно увеличивается к долинам рек. В этом же направлении изменяется тип водного питания земель — от атмосферного на водоразделах до грунтового-напорного в крупных долинах рек. Вместе с тем, отдельные части бассейна (морфогенетические структуры) четко обособлены по сочетанию этих факторов.

Своеобразие почв и почвенного покрова водосборных площадей определяется суровыми климатическими условиями и наличием в профиле почв с реликтовыми признаками. Так, в таежной зоне распространены почвы с реликтовым вторым гумусовым горизонтом, что создает предпосылки к их большей сорбционной емкости. В подтаежной и лесостепной зонах отмечается значительное распространение солонцеватости, почвы обладают специфическими физико-химическими свойствами. Длительное промерзание почв приводит к периодическому образованию почвенно-грунтовой верховодки, которая вызывает поверхностное глееобразование, появляются признаки глубинного глееобразования в почвах средней подтайги и активизиру-

ются процессы оглеения в нижней части профиля почв южной подзоны. Все указанные свойства почв ухудшают почвенно-геохимические условия активности потенциала самоочищения из-за дополнительных радиальных барьеров.

Особенность географии почв — резкая контрастность почвенного покрова узких приречных дренажных участков и заболоченных плоских или с незначительными уклонами поверхностей междуречий, что определяет наличие латеральных геохимических барьеров.

Болотообразовательные процессы на территории бассейна Иртыша с самого начала голоцена происходят очень интенсивно, образуя обширные болотные системы. Бурное развитие болот продолжается и в наше время. Болотные биогеоценозы обладают относительной автономностью по отношению к внешним воздействиям и способностью к гомеостазу. Однако последнее свойство чрезвычайно легко теряет свое динамическое равновесие при условии техногенного загрязнения даже одного из компонентов. По определению М. А. Глазовской, любое попадание загрязнителей в торфяную или торфяно-перегнойную массу приводит к образованию вторичных экологических «бомб» замедленного действия с труднопрогнозируемыми последствиями. Из-за гомогенной структуры торфяной залежи и высокой степени обводненности радиальный вынос поллютантов становится затрудненным или на продолжительное время невозможным. Латеральный

вынос заторможен и всегда растянут во времени. В целом процессы потенциальной активности самоочищения почв и почвенного покрова водосборных площадей указывают, с одной стороны, на сдерживание процессов выноса загрязнителей в водные объекты на какой-то отрезок времени, а с другой, на то, что этот процесс растянут во времени и недостаточно прогнозируем.

Краткое рассмотрение природной среды бассейна свидетельствует, что компоненты среды обладают крайней неустойчивостью во времени и изменчивостью в пространстве. Это создает на преобладающей части территории условия инертности и растянутости во времени проявления активности процессов ее самоочищения при техногенных воздействиях (табл. 2).

Таблица 2
Потенциальная активность самоочищения почв и водосборных площадей реки Иртыш

Морфогенетическая структура	Потенциальная активность самоочищения ведущих почв	Потенциальная активность самоочищения водосборных площадей	
		радиальным стоком	литеральным стоком
Предгорная равнина	Высокая	Средняя	Высокая
Плато	Высокая – средняя	Средняя	Высокая – заторможенная
Равнина	Средняя – низкая	Средняя	Средняя – низкая
Низменность	Заторможенная	Низкая	Средняя

Оценка качества воды и экологического состояния водных объектов. Для оценки качества водных ресурсов и экологического состояния водных экосистем в практике водного хозяйства применяют методы, основанные на использовании комплексных показателей. В данной работе качество природных вод оценивали по методу В. В. Шабанова, с помощью коэффициента предельной загрязненности $K_{пз}$:

$$K_{пз} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{ПДК_i} - 1,$$

где i — номер загрязняющего воду вещества; N — количество учитываемых веществ; ПДК — предельно допустимая концентрация i -го вещества.

Качество воды определяется в соответствии с табл. 3.

Таблица 3
Классификация качества воды по показателю $K_{пз}$

Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
$\leq -0,08$	0	0...1	1...3	3...5	> 5

Оценка экологического состояния водной экосистемы проведена с помощью индекса Шеннона (H), который определяли на основе его связи с $K_{пз}$ по классификационным таблицам качества вод (коэффициент корреляции $r = -0,85$):

$$H = 3,06 \cdot \exp[-0,23(K_{пз} + 2)].$$

Оценка качества воды проведена для створов, расположенных на реке Иртыш и ее притоках (по данным 2001–2005 гг.). В результате расчетов получены характеристики качества воды для лет отчетного периода и разной обеспеченности: $P = 25, 50, 75, 95 \%$.

В табл. 4 приведен пример расчета показателя $K_{пз}$ для створа, пограничного с Республикой Казахстан. Вода соответствует классу «грязная».

Таблица 4
Концентрации загрязняющих веществ в речной воде и расчет показателя $K_{пз}$

Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/л		$\frac{C_i}{ПДК_i} - 1$
	C , мг/л	ПДК	
Кислород	10,3	12,0	-0,14
БПК5	4,4	3,0	0,47
NH_4	0,4	0,5	-0,20
NO_2	0,015	0,08	-0,81
NO_3	0,2	9,1	-0,98
Железо	0,8	0,3	1,67
Медь	0,01	0,001	9,00
Цинк	0,03	0,01	2,00
Никель	0,004	0,01	-0,60
Фенол	0,01	0,001	9,00
Нефть	1,6	0,05	31,00
СПАВ	0,05	0,5	-0,90
$K_{пз}$			4,13

Наиболее опасными загрязнителями являются: нефтепродукты, медь, фенол и цинк. На рис. 1 показано изменение загрязненности воды при сни-

жении концентрации данных веществ до уровня ПДК за счет проведения водоохранных мероприятий.

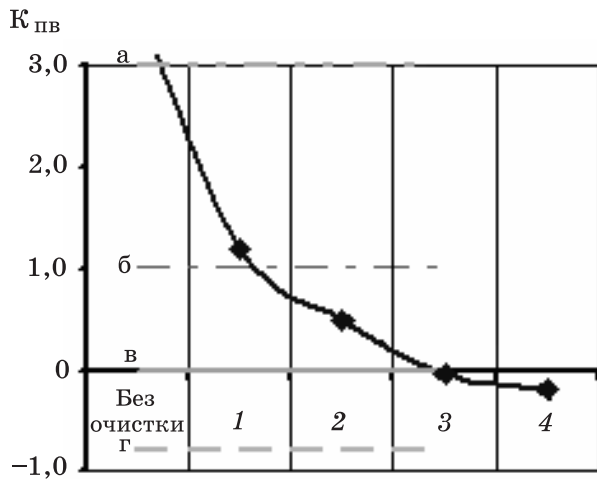


Рис. 1. Изменение качества воды при проведении водоохранных мероприятий позволяющих очистить воду от наиболее опасных загрязнителей: 1 — нефтепродукты; 2 — медь; 3 — фенолы; 4 — цинк; а — загрязненная; б — умеренно загрязненная; в — чистая; г — очень чистая

В результате проведения водоохранных мероприятий создаются условия для восстановления видового разнообразия водной системы (рис. 2). Создать условия для вывода водной системы на олиготрофный уровень можно при проведении водоохранных мероприятий с

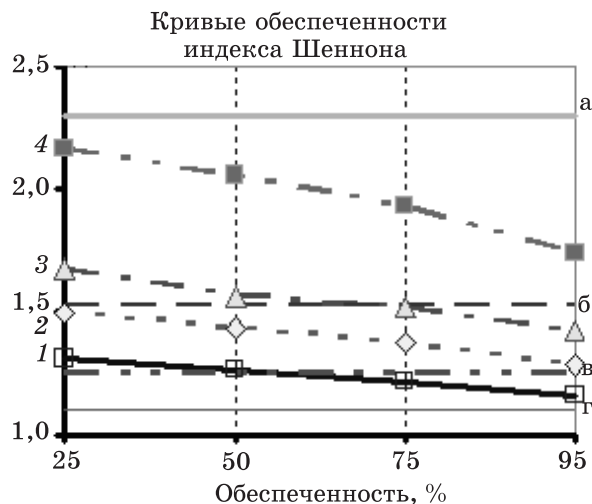


Рис. 2. Изменение индекса видового разнообразия водных экосистем в результате очистки. Эффективность очистки: 1 — без очистки; 2 — очистка 40 %; 3 — очистка 60 %; 4 — очистка 80 %. Уровень трофности: а — олиготрофный; б — мезотрофный; в — эвтрофный; г — гиперэвтрофный

эффективностью 60...80 %. Этого можно достичь либо очищая загрязненные воды из сосредоточенных источников загрязнения (рис. 3), либо проводя соответствующие работы на водосборе.

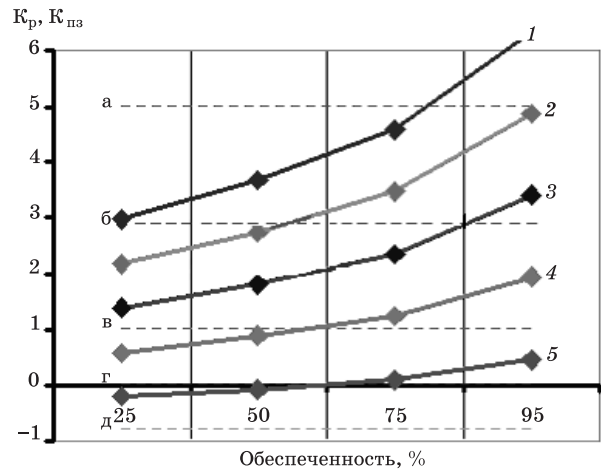


Рис. 3. Кривые обеспеченности коэффициентов предельной загрязненности для лет разной обеспеченности по стоку с учетом и без учета планируемых водоохранных мероприятий: а — грязная; б — загрязненная; в — умеренно загрязненная; г — чистая; д — очень чистая; 1 — Э = 0 %; 2 — Э = 20 %; 3 — Э = 40 %; 4 — Э = 60 %; 5 — Э = 80 %

Расчеты показывают, что качество воды в реке Иртыш на современном этапе не отвечает нормативам. Загрязненность изменяется от уровня «грязная» в пограничном с Казахстаном створе до «загрязненная» в месте впадения в Обь. В среднем течении реки отмечается некоторое улучшение качества воды за счет самоочищения до состояния «умеренно загрязненная». В нижней части качество воды ухудшается до состояния «грязная» в створе города Тобольска за счет городских сбросов и впадения «загрязненных» вод реки Тобол.

Качество воды в реках Тобол, Ишим, Тура, Конда, Исеть в настоящее время соответствует уровню «умеренно загрязненная», что говорит о слабом протекании процессов самоочищения при постоянном поступлении потоков загрязненных стоков (табл. 5). Повышенной загрязненностью отличаются такие притоки, как Тагил, Тавда, Вагай, Уй. Качество воды в реке Тавда соответствует классу «очень грязная». Это

опасно для Иртыша: сток Тавды несет большой объем загрязняющих веществ. Наибольшую опасность загрязнения представляют такие вещества, как медь, цинк, марганец и нефтепродукты. Водоохранная деятельность должна быть направлена на улучшение качества воды путем очистки сточных вод от этих загрязнителей.

Таблица 5

Сводная таблица оценки качества воды рек бассейна Иртыша

К _{пз}	Класс качества	Река
1,83	Загрязненная	Иртыш
2,12	Загрязненная	Ишим
1,92	Загрязненная	Тобол
3,01	Грязная	Тура
2,74	Загрязненная	Тагил
5,14	Очень грязная	Тавда
1,6у	Загрязненная	Конда
4,27	Грязная	Вагай
5,81	Очень грязная	Уй
1,50	Загрязненная	Синара
1,85	Загрязненная	Теча
1,03	Загрязненная	Миасс
2,48	Загрязненная	Исеть

Оценка направленности водоохранной деятельности проводится с целью определения требуемой эффективности водоохранных мероприятий для улучшения качества воды в реке, что создаст условия по улучшению состояния водного объекта в целом.

В табл. 6 представлены значения требуемой эффективности водоохранных мероприятий для доведения качества воды в реке Иртыш до состояния «умеренно загрязненная».

Таблица 6

Требуемая эффективность и места проведения водоохранных мероприятий для доведения качества воды в реке Иртыш до класса «умеренно загрязненная»

Водоохранное мероприятие	Обеспеченность, %	
	75	95
Улучшение качества воды в пограничном с Республикой Казахстан створе	64	73
Очистка стоков города Тобольска	76	80
Улучшение качества воды реки Тобол	43	53

Выводы

Совместное рассмотрение водосбора и водного объекта позволяет глубже понять процессы, происходящие в водной системе «водосбор — водный объект» и более обоснованно наметить необходимые эколого-водохозяйственные мероприятия.

Ключевые слова: экологическая оценка, водный объект, бассейн, Иртыш, индекс Шеннона, водоохранная деятельность.