

Изменение **ЭКОЛОГИЧЕСКОГО** СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ОСУШИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ

Исследовано влияние осушительной мелиорации на процессы аккумуляции и переноса тяжелых металлов и органических веществ в поверхностных водах на примере малых водотоков Среднеамурской низменности. Показано, что на процессы переноса и аккумуляции растворимых форм тяжелых металлов оказывает влияние дренажный и поверхностный сток с почвенных горизонтов, увеличение концентрации взвешенных и органических соединений, особенно фульвокислот, которые могут повышать их геохимическую подвижность, и уменьшение скорости течения. Суммарное воздействие факторов, связанных с осушительной мелиорацией, снижает класс качества поверхностных вод на порядок.

Введение

Состояние поверхностных водотоков на Дальнем Востоке России, которые являются источником питьевой воды для больших групп населения сопредельных государств, расположенных в бассейне р. Амур, определяется комплексом факторов природного происхождения, связанных с неустойчивостью водного режима в условиях муссонных черт климата, слабой способностью водных экосистем к самовосстановлению, специфическими особенностями формирования химического состава воды в пределах различных ландшафтов, на которые накладывается влияние разнообразных видов антропогенеза, особенно в бассейнах малых рек [1]. Известно, что малые реки имеют большое экологическое значение, по-

В.А. Зубарев*,
младший научный
сотрудник, ФГБУН
Институт комплексного анали-
за региональных
проблем Дальне-
восточного
отделения

скольку являются основой гидрографической сети, формируют сток больших водотоков, определяют качество их вод, но при этом они очень чувствительны к различным видам антропогенной нагрузки и отвечают на нее негативными изменениями, которые ухудшают или ограничивают водопользование [2]. Формирование качества воды в них может быть обусловлено непосредственным (сброс сточных вод) и опосредованным (осушение, орошение, вырубка лесов, распашка) влиянием антропогенных источников, расположенных на данной территории, и ландшафтными особенностями конкретных водосборных бассейнов [3]. Например, на Среднеамурской низменности, особенно в Еврейской автономной области (ЕАО), сельское хозяйство является одним из основных видов активного использования природных ресурсов. В регионах нового освоения, к которым она относится, приоритетным направлением получения высоких и устойчивых урожаев в сложных почвенно-климатических условиях является проведение на переувлажненных почвах долин малых рек специальных агротехнических мероприятий. Всего в автономии насчитывается более 5000 рек, большая часть из которых малые, некоторые из них активно используются как водоприемники дренажных вод. При этом возможно изменение качества воды вследствие различных процессов, связанных с гидрологическим режимом и смывом поллютантов с почвенных горизонтов осушаемых массивов, поэтому целью работы является исследование экологического состояния пойменно-русловых комплексов малых рек, подверженных влиянию осушительной мелиорации на территории ЕАО, для их сохранения и дальнейшего использования.

*Адрес для корреспонденции: Zubarev_1986@mail.ru



Рис. 1. Районы проведения осушительных мелиорационных работ в ЕАО (выделены красным цветом).

Материалы и методы исследования

Основным критерием выбора малых водотоков было наличие отводящего магистрального канала от осушительных мелиорационных систем для сброса дренажных стоков в поверхностные воды, на основании которого выбраны реки Ульдура, Грязнушка, Вертопрашиха, Солонечная, Кулемная и ее приток Осиновка, питающие средние левобережные притоки р. Амур (рис. 1).

Для оценки суммарного влияния стоков и водности на химический состав поверхностных вод отбор проб в каждом водотоке проводился по ГОСТ Р. 51592-2000 [4] в 2009–2012 гг. в весенний (до начала сельскохозяйственных работ) и осенний (после окончания работ) периоды выше (фоновые точки) и ниже (исследуемые точки) районов проведения осушительных работ. Образцы отбирались в пластиковые бутылки, упаковывались в темные пакеты и хранились в изотермическом холодильнике при отрицательной температуре.

Пробы анализировались по следующим показателям: водорастворимые фор-

Российской академии наук
Р.М. Коган,
 кандидат химических наук,
 заведующая лабораторией региональных геоэкологических исследований, ФГБУН Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук

мы тяжелых металлов (ТМ), типичных для Буреинской ландшафтно-геохимической провинции — железо и марганец, или характерные антропогенные загрязнители данной территории — медь, никель, кобальт, свинец и цинк (аппаратурная база ИКАРП ДВО РАН, г. Биробиджан); взвешенные вещества, общий, растворенный и взвешенный органический углерод, гуминовые и фульвокислоты, легколетучие органические соединения (ИВЭП ДВО РАН, г. Хабаровск).

Водорастворимые формы ТМ по РД 52.18.286-91 анализировались методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) на приборе «ThermoElectron SOLAAR 6M» [5]. ААС SOLAAR M6 — это двухлучевой, полностью автоматический спектрометр с двумя фиксированными атомизаторами — пламя (ацетилен — воздух) и графитовая печь (аргон — воздух), основанный на оптической схеме Эшелле с оптикой Стокдейла, полной термокомпенсацией и высокой светосилой, с дейтериевым корректором фона «Quadline» и «Зеэман». Диапазон абсорбции от 0,150 до 3,000 Å. Оптический диапазон 180-900 нм, автоматическая установка длины волны, напряжения на фотоумно-

жителе и полосы пропускания 0,2, 0,5, 1,0 нм с дополнительной 0,1 нм для длин волн меньше 400 нм. Спектрометр измеряет концентрацию каждого металла на характерной для него спектральной линии. Управление процессом измерения и обработка полученной информации производится в трехкратной повторяемости с помощью компьютера методом градировочного графика с автоматическим расчетом доверительного интервала.

Взвешенные вещества по РД 52.24.468-200 определялись гравиметрически после фильтрования пробы воды через фильтр с диаметром пор 0,45 мкм и взвешивания полученного осадка после высушивания его до постоянной массы [6].

Для определения общего органического углерода по ГОСТ 52991-2008 проводилось окисление соединений углерода, находящихся в пробе воды, при температуре от 550 до 1000 °С в присутствии кислорода и

Ключевые слова: малые реки, осушительная мелиорация, тяжелые металлы, органический углерод, Среднеамурская низменность

катализатора (0,01 н HCl) до диоксида углерода (IV) с последующим определением на анализаторе TOC-Ve («Shimadzu», Япония). Принцип определения общего органического углерода подробно описан в работе [7].

Растворенный органический углерод после пропускания образца воды через мембранный фильтр с порами размером 0,45 мкм, предварительно промытый 0,1 моль/дм³ раствором соляной кислоты, определялся на анализаторе TOC-Ve («Shimadzu», Япония) [8].

Взвешенный органический углерод определяли по И.В. Тюрину [9]

Гуминовые и фульвокислоты извлекали из отфильтрованной воды путем концентрирования и отделения гумусовых веществ на целлюлозных анионообменниках — диэтиламиноэтилцеллюлозе и определяли фотометрически [10].

Измерение концентраций летучих органических соединений выполняли методом

Таблица 2

Концентрации подвижных форм ТМ в поверхностных водах малых рек на территории ЕАО

Тяжелый металл	№ точки	Ульдура		Грязнушка		Солонечная		Вертопрашиха		Кулемная-Осиновка	
		весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Концентрации, мг/дм ³											
Fe	1	1,00 2,20	2,30 5,10	0,80 3,10	1,50 6,80	0,80 1,00	0,90 2,60	0,70 2,30	0,70 5,80	0,90 2,30	0,70 4,60
	2	1,50 4,50	3,1 6,60	1,10 4,30	2,90 7,40	1,30 3,60	1,70 8,20	1,20 3,10	1,90 4,80	1,40 4,80	3,80 6,40
Mn	1	0,20 0,50	0,06 0,60	0,20 0,30	0,05 0,30	0,20 0,80	0,40 1,10	0,10 0,60	0,40 0,70	0,10 0,20	0,06 0,60
	2	0,30 0,60	0,08 0,50	0,30 0,40	0,07 0,40	0,30 0,80	0,07 1,00	0,40 0,70	0,07 0,90	0,10 0,20	0,07 0,80
Cu	1	0,04 0,06	0,06 0,08	0,06 0,10	0,06 0,08	0,02 0,03	0,05 0,08	0,03 0,20	0,07 0,09	0,02 0,05	0,07 0,09
	2	0,06 0,10	0,07 0,10	0,07 0,20	0,09 0,10	0,03 0,04	0,07 0,10	0,03 0,07	0,02 0,10	0,03 0,06	0,08 0,10
Ni	1	0,03 0,20	0,02 0,30	0,05 0,10	0,03 0,20	0,04 0,20	0,03 0,30	0,07 0,30	0,04 0,40	0,09 0,20	0,03 0,30
	2	0,05 0,30	0,02 0,40	0,02 0,20	0,05 0,30	0,08 0,20	0,03 0,30	0,1 0,40	0,03 0,50	0,06 0,30	0,04 0,40
Zn	1	0,02 0,04	0,05 0,06	0,01 0,020	0,06 0,08	0,01 0,02	0,03 0,05	0,01 0,02	0,02 0,03	0,01 0,03	0,05 0,09
	2	0,03 0,05	0,06 0,07	0,02 0,04	0,08 0,10	0,04 0,10	0,03 0,05	0,02 0,04	0,03 0,05	0,02 0,03	0,08 0,10
Pb	1	0,05 0,07	0,05 0,10	0,03 0,02	0,09 0,20	0,10 0,20	0,02 0,03	0,10 0,20	0,10 0,20	0,10 0,20	0,09 0,10
	2	0,06 0,10	0,07 0,30	0,03 0,04	0,10 0,50	0,20 0,30	0,30 0,40	0,20 0,30	0,30 0,40	0,20 0,30	0,10 0,20
Co	1	0,04 0,05	0,07 0,08	0,04 0,06	0,08 0,10	0,04 0,05	0,05 0,07	0,05 0,06	0,08 0,10	0,02 0,06	0,04 0,08
	2	0,06 0,08	0,10 0,20	0,05 0,07	0,10 0,30	0,03 0,07	0,08 0,10	0,06 0,07	0,07 0,09	0,04 0,10	0,05 0,06

Примечание: 1 — фоновые, 2 — исследуемые точки. Числитель — концентрации ТМ в 2011 г., знаменатель — в 2009 г.

газовой хроматографии на хроматографе Кристалл-5000.1 с капиллярной колонкой HP-FFAP 50*0,32*0,5 и пламенно-ионизационным детектором [11]. Условия хроматографирования: температура испарения 150 °С, температура детектора ПИД 220 °С, хроматографическая разгонка при программировании температуры от 50 °С до 200 °С, газ-носитель азот.

Измерение скорости течения проводилось при помощи гидрологической вертушки ГР-99 [12.]

Результаты и их обсуждение

Водных экосистемах, как сложных природных комплексах, включающих в себя собственно воду, взвешенное вещество, донные отложения и гидробионты, форма нахождения металла и его концентрация опре-

деляется рядом различных физико-химических факторов (температурой, давлением, Eh и pH потенциалами и т.д.). Анализ общего содержания металлов в воде недостаточен для оценки ее токсичности как среды обитания [13]. Связано это, прежде всего, с тем, что физиологическая роль металлов определяется не столько биохимическими свойствами и концентрацией, но тем, в какой форме они находятся в водной экосистеме. Попадая в водоем, ионы металлов становятся активными участниками происходящих в нем процессов: могут сорбироваться взвешенными частицами и гидроксидами, подвергаться гидролизу, окисляться или восстанавливаться, образовывать комплексы с неорганическими и органическими лигандами. Перечисленные процессы влияют в значительной степени на состояние металлов в природных водах и определяют широкое разнообразие их форм миграции. Многочисленными исследовани-

Таблица 3

Содержание взвешенных и органических веществ в малых водотоках на территории ЕАО (весна 2012 г.)

Водотоки	№ точки	ВВ мг/дм ³	С _{орг}			Гуминовые кислоты	Фульво- кислоты	Легколетучие органические соединения,
			С _{общ.}	С ^Р	С ^В			
			мг С/дм ³					мг/дм ³
Ульдура	1	20,20	3,05	2,25	0,80	0,21	1,46	-
	2	72,50	7,41	6,72	0,69	0,45	3,46	Стирол, 0,0011 Этилацетат, 0,0024
Грязнушка	1	6,50	3,43	3,32	0,11	0,17	1,20	-
	2	23,30	5,19	5,13	0,06	0,27	1,82	Стирол, 0,0023 Бутанол, 0,0013
Солонечная	1	25,40	8,43	8,20	0,23	0,28	2,96	-
	2	34,20	10,67	10,21	0,46	0,34	4,21	Бензол, 0,0011 Бутанол, 0,0029 Стирол, 0,0027
Вергопрашиха	1	27,50	2,98	2,87	0,11	0,18	1,27	-
	2	51,80	3,42	3,21	0,21	0,30	2,31	Бутанол, 0,0028 Стирол, 0,0025
Кулемная	1	62,70	4,29	4,06	0,23	2,07	2,41	-
	2	103,80	2,73	2,16	0,57	0,16	1,22	Стирол 0,0026

Примечание: ВВ – взвешенные вещества, С_{орг} – органический углерод, С_{общ.} – общий органический углерод, С^Р – растворенный органический углерод, С^В – взвешенный органический углерод.



ями было показано, что ТМ (и органические вещества) при попадании в водоток превращаются в более токсичные формы по сравнению с исходными [14], но в первую очередь нас интересовали водорастворимые формы, как наиболее доступные для гидробионтов и регламентируемые в водоемах различного назначения.

Проведенные исследования водорастворимых форм ТМ показали что, вне зависимости от объема выпавших атмосферных осадков в весенне-осенний период, их концентрация в исследуемых точках выше, чем в фоновых, в осенний период выше, чем весенний; содержание природных загрязнителей — железа и марганца — всегда выше, чем природно-антропогенных (табл. 2), что, в первую очередь, связано с поступлением их с дренажными водами.

На процессы аккумуляции и переноса ТМ в поверхностных водах могут влиять твердые взвешенные и органические вещества, выступающие по отношению к ним в качестве механических и химических сорбентов, которые поступают в водотоки при дренировании почвенных горизонтов мелиорационными системами.

Содержание взвешенных веществ (**ВВ**) в соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/дм³ по сравнению с фоновыми значениями [15], однако весной 2012 г. в реках Ульдура и Грязнушка содержание ВВ увеличилось в 3,5; в р. Вертопрашиха и р. Солонечная в 1,3; а в р. Осиновка уменьшилось почти в 2 раза по сравнению с фоновыми точками (табл. 3). Различия в накоплении ВВ, возможно, зависят от типов пойменных почв, с которых происходит сток дренажных и поверхностных вод. Почвы рек Ульдура и Грязнушка относятся к подзолисто-буроземным глинистым и суглинистым; рек Вертопрашиха и Солонечная — к лугово-глинистым, а рек Кулемная и Осиновка — к лугово-болотным, поэтому вследствие различных физико-механических свойств вероятно разная скорость смыва ВВ с поверхностного горизонта как при затоплении атмосферными осадками, так и под действием дренажных вод.

Количество общего органического углерода является наиболее надежным показателем суммарного содержания органических веществ в природных водах, его состав и содержание определяются совокупностью многих различных по своей природе и скорости процессов [16].

Концентрация общего органического углерода в фоновых точках составляет 3,5 мг С/дм³, наибольшее содержание обнаружено в р. Солонечная — 8 мг С/дм³. В исследуемых точ-

ках его концентрация примерно в 1,5 раз больше, чем в фоновых почти во всех водотоках — примерно 6,5 мг С/дм³, а в р. Солонечная около 11 мг С/дм³.

Содержание растворенного и взвешенного органического углерода является важным экологическим критерием, поэтому его необходимо определять для правильной интерпретации биологических и физико-химических процессов, происходящих в водотоке. В поверхностных водах исследованных водотоков органический углерод находится, в основном, в растворенном виде — от 2 до 10 мгС/дм³ (92%) и незначительно в виде взвешенных частиц (не превышает 1 мгС/дм³(2%)).

Водорастворимые органические вещества примерно на 60% представлены гумусовыми и фульвокислотами, причем в исследуемых точках их содержание примерно в 1,5 раз больше чем в фоновых, и концентрация фульвокислот превышает содержание гуминовых примерно в 10 раз вследствие их хорошей растворимости в поверхностных водах. Органические соединения, особенно фульвокислоты, могут привести к повышению геохимической подвижности различных элементов, особенно железа, никеля, кобальта и меди и их соединений за счет реакций ионного обмена, комплексообразования и стабилизирующего действия на коллоидные растворы, что соответствует отмеченному нами увеличению содержания водорастворимых форм ТМ в районе проведения мелиорации.

Легколетучие органические вещества в фоновых точках не обнаружены, а в исследуемых найдены в следовых количествах (табл. 3), что является еще одним доказательством того, что основным источником антропогенного прессинга на водоемы является дренирование почв мелиорационными системами.

Для оценки экологического состояния поверхностных водотоков рассчитан индекс загрязнения воды (**ИЗВ**) [17]:

$$ИЗВ = \sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{C_i}{ПДК_i}\right)}{n},$$

где C_i — концентрация ТМ, $ПДК_i$ — предельно допустимая концентрация ТМ (для вод хозяйственно-питьевого водоснабжения), n — количество ТМ.

Как видно из данных, приведенных в табл. 4, значения ИЗВ в исследуемых точках практически в 2 раза выше, чем в фоновых. Наибольшие ИЗВ найдены в год с обильным выпадением атмосферных осадков (2009 г.), когда происходит затопление пойм, при этом водотоки весной характеризуются как «загрязненные», осенью —

Таблица 4

Значение ИЗВ в малых водотоках на территории ЕАО

Водотоки	№ точки	2009 г.		2010 г.		2011 г.	
		весна	осень	весна	осень	весна	осень
		Индекс загрязнения воды					
Ульдура	1	2,68	4,09	1,87	2,94	1,66	1,88
	2	4,83	5,57	2,45	4,23	3,06	2,75
Грязнушка	1	2,97	3,72	1,40	3,40	1,64	1,64
	2	5,05	5,65	2,14	1,93	2,77	3,43
Вертопрашиха	1	2,95	3,30	1,64	2,06	2,85	1,76
	2	4,31	4,96	2,53	3,30	2,44	2,34
Солонечная	1	3,47	4,00	1,59	2,49	2,88	1,97
	2	5,46	5,43	2,32	1,56	3,43	1,46
Кулемная	1	2,74	2,75	1,96	4,14	2,11	2,09
Осиновка	2	4,59	4,67	2,72	2,50	3,16	1,40

Примечание: 1 – фоновые, 2 – исследуемые точки.



Рис. 3. Р. Осиновка (район мелиорации)



Рис. 2. Р. Кулемная (вне района мелиорации)

«грязные». В отсутствии затопления пойм водотоки относятся к «умеренно загрязненным» и «загрязненным» в весенний и осенний периоды, соответственно. Таким образом, мелиорирование пойменных почв приводит к ухудшению качества воды малых водотоков на порядок.

Кроме того, на процессы транзита и аккумуляции поллютантов может оказать влияние изменение геоморфологических характеристик пойменно-русловых комплексов (рис. 2, 3) и уменьшение скорости течения воды в водотоках в районах проведения мелиорационных работ примерно в 2 раза по сравнению с фоновыми точками.

Заключение

Таким образом, в районах проведения осушительной мелиорации на процессы переноса и аккумуляции растворимых форм ТМ в поверхностных водотоках могут оказывать влияние не только дренажный и поверхностный сток с почвенных горизонтов, но и увеличение концентрации взвешенных и органических соединений, особенно фульвокислот, которые повышают их геохимическую подвижность, а также уменьшение скорости течения. Суммарное воздействие факторов, связанных с осушительной мелиорацией, снижает класс качества поверхностных вод на порядок, что может служить обоснованием необходимости включения их в систему регионального мониторинга.

Литература

1. Воронов Б.А. Современное состояние водных ресурсов Дальнего Востока и их антропогенное преобразование / Б.А. Воронов, А.Н. Махинов // Мат. Всерос. науч. конф. «100-летие Камчатской экспедиции Рус. геогр. общ-ва 1908-1910 гг.» Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С 40-48.
2. Калинин В.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия / В.М. Калинин, С.И. Ларин, И.М. Романова. Тюмень: ТюмГУ, 1998. 220 с.
3. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учеб.-метод. пособие. Ижевск: Удмуртский университет, 2012. 199 с.
4. ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2008. 35 с.
5. РД 52.18.286-91 Методика выполнения измерений массовой доли водорастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М.: Гидрометеиздат, 1991. 35 с.
6. РД 52.24.468-2005 Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом. М.: Гидрометеиздат 2005. 31 с.
7. Ягов Г.В. Современные методы определения содержания общего азота и углерода в пробах природных вод // Вода: химия и экология. 2009. №10. С. 28-33.
8. ГОСТ 52991-2008 Вода. Методы определения содержания общего и растворенного органического углерода. М.: Стандартформ, 2009. 23 с.
9. Бельчикова Н.П. Определение гумуса почвы по методу И.В. Тюрина // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 56-62.
10. Красюков В.Н. Способ определения гумусовых веществ в природных водах / В.Н. Красюков, И.А. Лапин // Бюллетень изобретений. 1988. №12. С. 175.
11. ПНД Ф 14.1:2:4.57-96 Количественный химический анализ вод. Методика измерения массовых концентраций бензола, толуола, этилбензола, о-ксилола, м-ксилола, п-ксилола и стирола в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии. М.: Гидрометеиздат 2011. 25 с.
12. Цивин М.Н. Гидрометрия: теория и практика измерения скорости течения воды в открытых каналах / М.Н. Цивин, П.И.Абраменко. Краснодар: ИГиМ, 2004. 110 с.
13. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных экосистем // Соросовский образовательный журнал. 1998. №5. С. 23-29.
14. Смоляков Б.С. Экологические последствия трансформации химических форм металлов — поллютантов в реальном пресном водоеме / Б.С. Смоляков, М.В. Жигула // Химия в интересах устойчивого развития. 2001. №9. С. 283-291.
15. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Минздрав России, 2000. 36 с.
16. Мельников И.А. Особенности распределения органического углерода в водах и льдах Арктического бассейна / И.А. Мельников, Г.В. Павлов // Океанология. 1978. Т. 18. №2. С. 248-254.
17. РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязнения поверхностных вод по гидрохимическим показателям. М.: Гидрометеиздат 2002. 21 с.

V.A. Zubarev, R.M. Kogan

CHANGES OF ECOLOGICAL STATUS OF SMALL RIVERS OF THE MIDDLE AMUR LOWLAND UNDER DRAINAGE RECLAMATION CONDITIONS

Influence of drainage reclamation on processes of accumulation, heavy metal and organic migration in surface water was studied using as examples small rivers of the Middle Amur Lowland. It is shown that the processes are under the action of drainage and surface runoffs, growth of concentration of suspended and organic components especially fulvic acids which may increase geochemical mobility and loss of stream speed. Total effect of factors associated with drainage reclamation make quality of surface water by an order of magnitude less.

Key words: small river, drainage reclamation, heavy metals, organic carbon, Middle Amur Lowland