

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД И ВОДОРΟΣЛИ ПЕРИФИТОНА Р. РУДНАЯ
(ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

В.М. Шулькин¹, Т.В. Никулина²

¹*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, ул. Радио, 7,
Владивосток, 690041, Россия. E-mail: shulkin@tig.dvo.ru*

²*Биолого-почвенный институт ДВО РАН, пр. 100-летия Владивостока, 159,
Владивосток, 690022, Россия. E-mail: nikulina@biosoil.ru*

Проанализировано пространственное распределение химических показателей вод и водорослей перифитона реки Рудной, дренирующей район наиболее развитой горнорудной и горнохимической деятельности в Приморском крае РФ. Показано, что, несмотря на значительное снижение объемов производства, степень загрязнения среднего и нижнего течения водотока остается высоким. Для растворенных форм фосфора наблюдается тенденция увеличения среднегодовых концентраций в речном стоке за последние 10–12 лет. Показатели перифитонных альгосообществ свидетельствуют о достаточно благополучном состоянии в верхнем течении реки, несмотря на явное загрязнение металлами. Ниже г. Дальнегорск видовое разнообразие водорослей перифитона снижается, а индекс сапробности возрастает. Значения индекса сапробности в среднем и нижнем течении р. Рудная за последние 20–30 лет уменьшились.

**CHEMICAL COMPOSITION OF WATERS AND PERIPHYTON ALGAE
OF RUDNAYA RIVER (PRIMORYE TERRITORY)**

V.M. Shulkin¹, T.V. Nikulina²

¹*Pacific Geographical Institute, FEB RAS, 7 Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia.
E-mail: shulkin@tig.dvo.ru*

²*Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, 159 Stoletiya Vladivostoka Ave.,
Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: nikulina@biosoil.ru*

Spatial distribution of chemical parameters and algal periphyton were analyzed for the Rudnaya River draining one of the most developed ore mining and chemical industry area of Primorye, Russia. Despite the decrease of industrial activity last decades, the contamination of river waters in the middle and downstream continues is high and even increase by some parameters. There is an increasing trend in annually averaged phosphate concentration in the river runoff during last 10–12 years. The number and biomass of periphyton algae show rather healthy conditions of the upper reach of Rudnaya River despite obvious contamination by heavy metals. Downstream of Dalnegorsk city the periphyton algae demonstrate diminishing of species number and increasing of saprobity index. Presumably the saprobity index in the middle and low reach of Rudnaya River has declined during last 20–30 years.

Река Рудная, дренирующая водосбор в центральной части восточного макросклона хр. Сихотэ-Алинь, давно привлекает внимание вследствие сложной экологической ситуации, наблюдаемой в ее долине (Аржанова, Елпатьевский, 1990). Причина – влияние стоков и выбросов предприятий горнорудной и горнохимической промышленности, работающих здесь более 100 лет. В результате их деятельности речные воды, почвы, растительность долины р. Рудная значительно загрязнены химическими веществами, в том числе тяже-

лыми металлами (Shulkin, 1998; Шулькин и др., 2003; Шаров, 2005). Недостаточно эффективные системы очистки коммунальных стоков г. Дальнегорск и прилегающих поселков, сосредоточенных в долине, также способствуют загрязнению р. Рудная биогенными соединениями. При этом, кроме увеличения концентрации химических веществ, наблюдалось изменение и гидробиологических характеристик реки, в частности, состава водорослей перифитона (Varinova et al., 2008), являющихся биологическим показателем качества вод.

За последние 25–30 лет интенсивность деловой активности предприятий в долине р. Рудная претерпела существенные изменения. Рост производства 70–80-х годов XX века сменился кризисом начала 90-х годов, сопровождавшийся резким спадом и уменьшением объемов выпуска продукции. С начала нового века наблюдается частичное восстановление производства. Цель данной работы – выявить наблюдаются ли соответствующие изменения в уровне загрязнения речных вод и трансформации одного из компонентов речной экосистемы, а именно – состава водорослей перифитона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные по химическому составу вод р. Рудная на пяти постоянных станциях от верховья реки, где антропогенное влияние отсутствует, до устья (рис. 1), были получены в ходе работ лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН в период с 1974 по 2012 гг. Использовались результаты отборов, проведенных в летнюю межень.

Содержание растворенных форм металлов определяли в пробах, фильтрованных через мембранные фильтры 0,45 мкм, после предварительного концентрирования жид-



Рис. 1. Схема района работ.

- 1 – точки отбора проб воды и перифитона,
- 2 – основные источники антропогенных стоков,
- 3 – населенные пункты.

костной экстракцией с последующим атомно-абсорбционным анализом. Данные по растворенным формам Pb, Cd, Cu в пробах 1974 г. не использовались, поскольку применялся другой метод анализа (Елпатьевский, 1993).

Содержание сульфатов, интегрально характеризующих степень антропогенного изменения макросостава вод р. Рудная, определяли турбидиметрически (Елпатьевский, 1993) и хроматографически с чувствительностью 0,1 мг/л. Кроме того, для оценки тренда изменения химического состава вод нижнего течения реки за период 1997–2009 гг. использовали осредненные данные Приморского Управления по Гидрометеорологии и Контролю Природной Среды (ПУГКС) по содержанию фосфатов и растворенных форм азота в створе ниже г. Дальнегорск.

Качественный и количественный альгологический материал отобран на пяти участках р. Рудная в августе 2013 г. Сбор, камеральная обработка, видовая идентификация, определение численности и

биомассы водорослей перифитона были проведены согласно стандартным методикам (Водоросли, 1989). При оценке структуры альгосообществ были выявлены комплексы преобладающих видов с учетом частоты встречаемости таксонов согласно шестибальной шкалы (Кордэ, 1956). К доминантам были отнесены таксоны с частотой встречаемости 6 («масса»), а к субдоминантам – с оценкой обилия 5 («очень часто»). В случае отсутствия в водорослевом сообществе реального доминирования вида к преобладающим относили таксоны, имеющие максимально высокую для данного участка реки частоту встречаемости.

Санитарно-биологическое состояние вод водотока оценено по методу Пантле-Бука в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955; Сладечек, 1967), основанного на присутствии в альгосообществах водорослей – индикаторов органического загрязнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

До конца 80-х годов XX столетия происходил рост горнорудного производства в долине р. Рудная, соответственно возрастал и масштаб выбросов в атмосферу и сбросов сточных вод. В начале 1990-х годов объемы выпуска продукции на горнорудных предприятиях снизились в 1,5–2 раза, а выплавка свинца практически прекратилась, что значительно уменьшило выбросы в атмосферу. Добыча свинцово-цинковой руды на шахтах Дальнегорска, достигнув пика в 1992 г. (1250 тыс.т/год), снизилась до уровня 515 тыс.т в 1998 г. (Куракин, Заньков, 2000). В 2006–2011 гг. добыча руды варьировала на уровне 687–845 тыс.т. Сходную динамику имел объем производимого свинцового концентрата. Сокращение добычи и первичной переработки горно-рудного сырья и, соответственно, уменьшение стоков в р. Рудная было не столь значительным, как снижение выбросов в атмосферу. Производство основного продукта – борной кислоты на горно-химическом комбинате снизилось, однако большая часть стоков комбината в р. Рудная обусловлена дренажем хвостохранилища, которое происходит независимо от текущей производственной деятельности. То же можно сказать и про дренаж рудничных отвалов и шахтных вод.

Основной объем коммунально-бытовых стоков в долине реки образуется в г. Дальнегорск и прилегающих поселках. Значительного изменения численности населения и улучшения в системе очистки стоков этого района за последние годы также не наблюдалось.

Химический состав вод р. Рудная значительно изменяется по течению реки в соответствии с характером и объемом антропогенных стоков (рис. 2). Выше пос. Краснореченск это ультрапресные нейтральные гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией менее 100 мг/л, причем за последние 30 лет ситуация здесь сохранилась неизменной. Ниже пос. Краснореченск за счет стоков, состоящих преимущественно из шахтных вод, химический состав речных вод значительно меняется (Аржанова, 2010). При этом если pH речных вод остается нейтральным, и минерализация возрастает лишь на 20–30 %, то содержание сульфатов и растворенных форм Си увеличивается в 4–5 раз, а концентрация растворенных форм Zn, Cd – на 2–3 порядка (рис. 2). Содержание растворенного фосфора в верхнем течении р. Рудная не превышает 0,004–0,005 мгP/л (рис. 3а), что соответствует незагрязненным олиготрофным водотокам. Содержание растворенных форм азота в верховьях составляет 0,5–0,8 мгN/л из которых 70–80 % представлено нитратами.

Следующий этап трансформации состава речных вод происходит за счет сточных вод, поставляемых предприятиями Дальнегорска, прежде всего горно-химическим комбинатом «Бор». Поскольку боросиликатные руды района содержат значительное количество карбонатов, дренажные воды хвостохранилища и промышленные стоки комбината имеют щелочной характер (Аржанова, 2010). Кроме того, на этом участке в реку поступает основная масса коммунально-бытовых стоков г. Дальнегорск. В результате, в пункте отбора проб ниже Дальнегорска (20 км от устья) pH вод реки повышается до 7,9–8,3, минерализация возрастает в 2,5 раза, концентрация сульфатов – в 5–6 раз (рис. 2), а содержание растворенных форм фосфора повышается на порядок – до 0,056–0,063 мгP/л (рис. 3а). В то же время концентрация растворенных форм азота увеличивается лишь на 20 %, а кон-

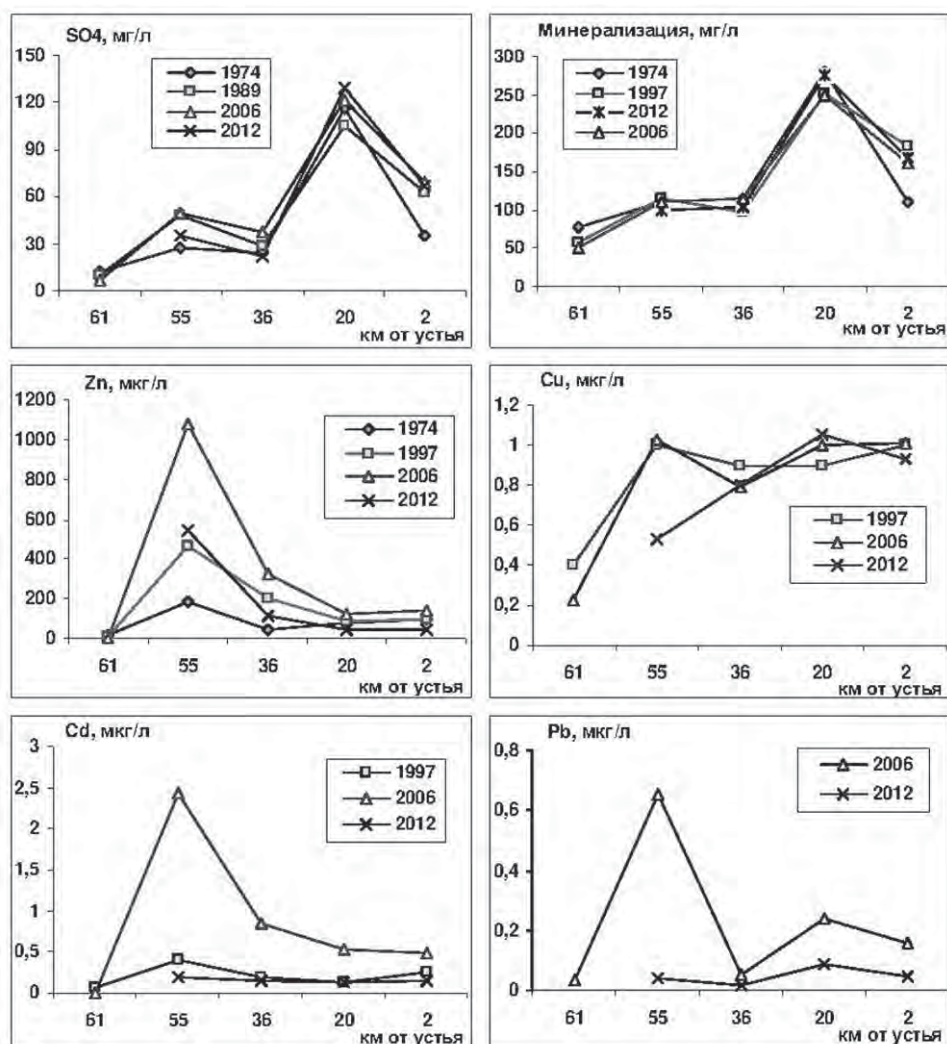


Рис. 2. Динамика изменения концентрации сульфатов, минерализации и растворенных форм металлов в р. Рудная за период 1974–2012 гг.

центрации растворенных форм Zn, Cd и Pb значительно снижаются, хотя и продолжают оставаться выше фона на 2 порядка для Zn и на 1–2 порядка для Cd.

В нижнем течении реки pH вод вновь становится нейтральным, а минерализация и содержание сульфатов снижается за счет разбавления притоками до уровня, в 1,5–2 раза большего, чем в водах, отобранных выше Дальнегорска. По этой же причине уменьшается количество растворенных форм фосфора до уровня 0,019–0,025 мгP/л, что в 4–5 раз выше, чем в верхнем течении, и растворенных форм азота до уровня, наблюдаемого в верховьях реки. Концентрации растворенных форм металлов в нижнем течении р. Рудная меняются относительно мало, т.е. остаются повышенными до 50–140 мкг/л для Zn, 0,15–0,48 – для Cd, 0,05–0,16 – для Pb (рис. 2), что выше фона, наблюдаемого в верховьях реки, в 250, 100 и 5 раз, соответственно.

Химический состав речных вод является интегральным показателем как природных условий на водосборе, так и степени антропогенной нагрузки, включая трансформацию ландшафтов и прямые сбросы промышленных и коммунально-бытовых сточных вод. Уже

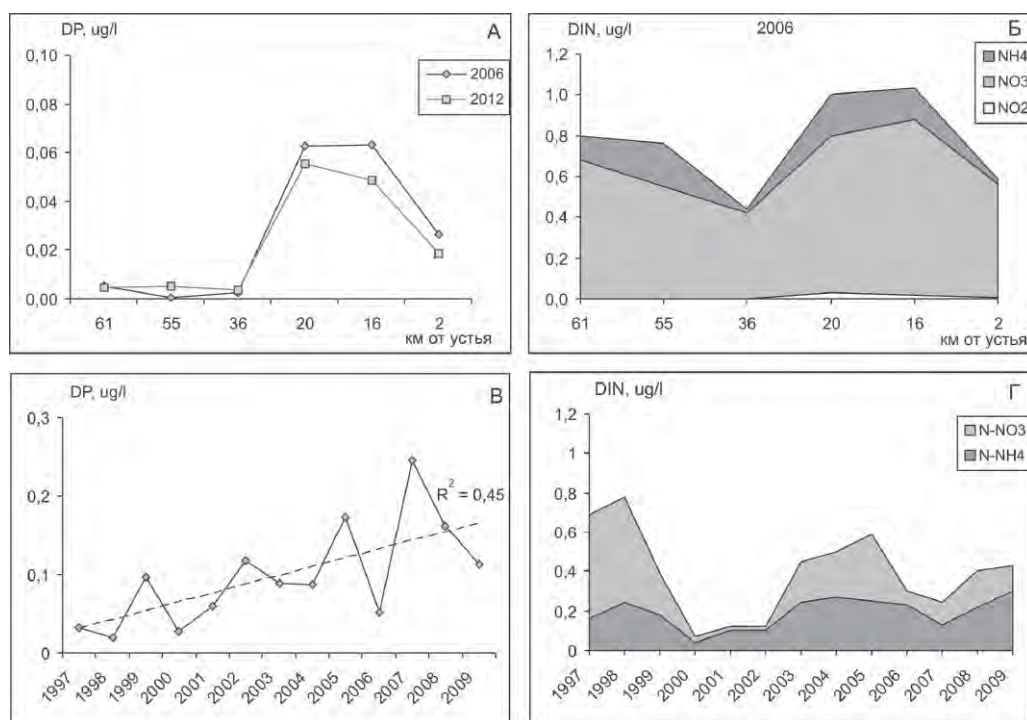


Рис. 3. Изменение концентрации растворенных форм фосфора (А) и азота (Б) по течению р. Рудная, и динамика среднегодовых величин растворенных форм фосфора (В) и азота (Г) в нижнем течении реки за последние 12 лет по данным ПУГКС.

к 1974 г. более 80 % ионного стока р. Рудная имело антропогенную природу. Вклад техногенных источников в речной сток халькофильных металлов превышал 95–98 % (Елпатьевский, 1993). За период 1974–2012 гг. характер изменения минерализации по течению р. Рудная остался прежним. Практически не изменилась и величина минерализации на отдельных створах (рис. 2). Следовательно, несмотря на существенное уменьшение интенсивности производства, степень антропогенной трансформации основных параметров химического состава вод реки остается на одном уровне. Это подтверждает гипотезу об устойчивости однажды сформированных техногенных гидрохимических аномалий (Елпатьевский, 1993) и свидетельствует о доминирующей роли стоков из хвостохранилищ и шахтных вод, которые продолжают попадать в речную сеть и при снижении активности текущей горнорудной деятельности. Более того, концентрация растворенных форм Zn и Cd в верховьях реки, принимающих шахтные стоки горнорудного комплекса поселка Краснореченск, в последние годы значительно возросла по сравнению с 1974 г. (рис. 2), несмотря на снижение объемов производства. При этом pH речных вод хоть и остается нейтральным, но снизился от 7,56 до 7,2–7,3, отражая, вероятно, увеличение вклада кислых шахтных вод, поступающих в реку за счет дренажа заброшенных шахт и хвостохранилищ. Ниже по течению разница в концентрации растворенных металлов между опробованиями 1974 и 2012 гг. нивелируется за счет разбавления как речными притоками, так и стоками дренажа хвостохранилища ГХК «Бор». Вероятной причиной снижения концентрации растворенных форм халькофильных металлов является щелочной характер стоков хвостохранилища ГХК «Бор», в результате чего pH речных вод ниже Дальнегорска (в 20 км от устья) повышается до 7,9–8,3, по сравнению с 7,1–7,3 в верхнем течении реки. Влияние коммунально-бытовых стоков начинает сказываться ниже по течению от г. Дальнегорск и выражается в существенном увеличении растворенных фосфатов, повышенный уровень которых сохраняется в нижнем течении реки.

Таблица 1

Таксономический состав водорослей перифитона р. Рудная

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Вид, разновидность и форма	Процентное соотношение
Цианопрокaryota	1	2	3	3	3	3	3,2
Chrysophyta	1	1	1	1	1	1	1,1
Bacillariophyta	3	12	19	35	82	89	94,6
Chlorophyta	1	1	1	1	1	1	1,1
Всего	6	16	24	40	88	94	100

В устье р. Рудная содержание биогенных элементов N и P, поставляемых коммунальными стоками, снижается (рис. 3а, б) за счет разбавления притоками, однако концентрация растворенных металлов сохраняется на уровне близком или превышающим тот, который наблюдается ниже стоков Дальнегорска (рис. 2).

За последние 38 лет концентрации растворенных металлов в устье р. Рудная колебались в 1,5–2 раза, но всегда оставались на 1–3 порядка выше фоновых уровней, наблюдаемых в верховьях реки. Исключение составляет растворенная медь, концентрация которой в устье реки достаточно постоянна (0,93–1,01 мкг/л), мало меняется по течению реки (рис. 2), и отражает, вероятно, общий уровень антропогенной нагрузки на водосбор, тогда как растворенные формы Pb, Cd и Zn отражают влияние дренажа шахт и хвостохранилищ, а также сброса стоков горно-перерабатывающих предприятий. Многолетняя динамика содержания растворенных форм фосфора демонстрирует тренд возрастания за последние 10–12 лет (рис. 3в), вероятно, за счет увеличения масштабов использования моющих средств, содержащих полифосфаты в сочетании с отсутствием должной очистки коммунально-бытовых стоков. Для растворенных форм азота явный многолетний тренд не устанавливается (рис. 3г).

в 1978–1990 гг. проводились детальные исследования альгофлоры реки Рудной и ее притоков с целью выявления степени загрязнения вод в бассейне данного водотока (Медведева и др., 1986; Баринаева, Медведева, 1987; Barinova et al., 2008; Medvedeva et al., 2012). Согласно этим работам флора водорослей р. Рудная, восьми ее притоков и Горбушинского водохранилища представлена 216 видами, разновидностями и формами водорослей из 7 отделов (Цианопрокaryota, Xanthophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Rhodophyta и Chlorophyta).

Общий таксономический состав водорослей перифитона р. Рудная в августе 2013 г. представлен 94 внутривидовыми таксонами из отделов Цианопрокaryota, Chrysophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta (табл. 1, 2). Основу изученной флоры водорослей составляют диатомовые – 94,6 % от общего видового состава (89 видов и разновидностей водорослей). В систематической структуре альгофлоры наибольшее количество таксонов содержат роды *Navicula* – 6, *Gomphonema* – 7, *Nitzschia* – 8 видов и разновидностей. Новыми для бассейна р. Рудная оказались 44 вида и разновидности цианопрокарриот и диатомовых водорослей (табл. 2).

Речные перифитонные сообщества выше пос. Краснореченск характеризуются высоким видовым разнообразием – 58 и 55 видов и разновидностей цианопрокарриот, золотистых и диатомовых водорослей, соответственно (табл. 2). Встречаемость большего числа видов оценена как единичная и редкая, и только виды *Diatoma mesodon*, *Fragilaria tenera*, *Meridion circulare* var. *circulare*, *Achnantheidium minutissimum* и *Nitzschia palea* имеют оценки обилия «нередко»–«часто». При обработке количественных проб выявлено, что макси-

Таблица 2

Видовой состав водорослей перифитона р. Рудная

№ п\п	Таксон	Место отбора проб					Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
		1	2	3	4	5					
Отдел Cyanoprokaryota Класс Cyanophyceae Порядок Chroococcales Семейство Entophysalidaceae											
1	* <i>Chlorogloea</i> sp.	-	-	-	1-3	-	-	-	-	-	-
Порядок Oscillatoriales Семейство Ammatoideaceae											
2	* <i>Homoeothrix varians</i> Geitler	1	1-2	-	-	-	B	-	-	o	-
Семейство Phormidiaceae											
3	<i>Phormidium autumnale</i> (Agardh) Trevisan ex Gomont	-	1	-	-	-	B	-	-	β	k
Отдел Chrysophyta Класс Chrysophyceae Порядок Hydrurales Семейство Hydruraceae											
4	<i>Hydrurus foetidus</i> (Villars) Kirchner	-	1-2	-	1	-	B	-	-	o-χ	-
Отдел Bacillariophyta Класс Coscinodiscophyceae Порядок Melosirales Семейство Melosiraceae											
5	<i>Melosira varians</i> Agardh	1	1	2	1	1	B-P	i	alf	α-β	k
Порядок Aulacoseirales Семейство Aulacoseiraceae											
6	* <i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müller) Simonsen	1	1	1	-	1	P	i	acf	o-χ	b
7	* <i>A. subarctica</i> (O. Müller) Haworth	-	2	-	-	1	P	i	alb	α-β	k
Класс Fragilariophyceae Порядок Fragilariales Семейство Fragilariaceae											
8	* <i>Asterionella formosa</i> Hassall	1	1	-	-	1	P	i	alf	o	k
9	<i>Diatoma hyemalis</i> (Roth) Heiberg	2	-	2	1	1	B	hb	i	β-o	k
10	<i>D. mesodon</i> (Ehrenberg) Kützing	2-3	1	1	-	1	B	hb	alf	χ-β	k
11	* <i>D. moniliforme</i> (Kützing) D.M. Williams	-	-	1	-	6	B-P	-	-	β-α	a-a
12	<i>D. tenuis</i> Agardh	-	-	1	-	-	B-P	hl	i	β-α	k
13	<i>D. vulgaris</i> Bory	1	-	-	1	1	B-P	i	i	β	k
14	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières var. <i>capucina</i>	1	1	2-3	1	3-5	B-P	i	alf	o-β	k

продолжение таблицы 2

№ п\п	Таксон	Место отбора проб					Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
		1	2	3	4	5					
15	<i>*F. capucina</i> Desmazières var. <i>gracilis</i> (Oestrup) Hustedt	1	-	5	1	1	-	-	-	β-α	-
16	<i>F. capucina</i> var. <i>rumpens</i> (Kützing) Lange-Bertalot ex Bukhtiyarova	1	1	4-5	-	5-6	B	i	acf	o	k
17	<i>*F. tenera</i> (W. Smith) Lange-Bertalot	3	1	1	-	1-2	B-P	-	-	-	-
18	<i>F. vaucheriae</i> (Kützing) Petersen	1-2	1-2	4-5	-	1-3	E	i	alf	o-β	k
19	<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) Patrick var. <i>arcus f. arcus</i>	1	1	1	-	-	B	i	alf	χ	a-a
20	<i>H. arcus</i> var. <i>arcus f. recta</i> (Cleve) Foged	1	1	1	-	1-2	B	i	alf	o	a-a
21	<i>H. arcus</i> var. <i>amphioxys</i> (Rabenhorst) Patrick	-	1	-	-	-	B	i	alf	χ	a-a
22	<i>*H. arcus</i> var. <i>linearis</i> (Holmboe) R. Ross	1	-	-	1	-	B-P	i	alf	χ	a-a
23	<i>Meridion circulare</i> var. <i>circulare</i>	1-3	2-4	1-3	-	1	B	hb	alf	o-χ	k
24	<i>M. circulare</i> var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck	1	1	1	1	1	B	hb	alf	χ-o	k
25	<i>Staurosirella leptostauron</i> (Ehrenberg) Williams et Round	1	-	1	-	-	B	-	-	-	-
26	<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal	-	-	-	-	5	P	i	alb	b-o	k
27	<i>*U. danica</i> (Kützing) Compère et Bukhtiyarova	-	-	1	-	1-2	B-P	i	alf	β	k
28	<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère	1	1	1-2	1	1-2	B-P	i	alf	o-α	k
Порядок Tabellariales Семейство Tabellariaceae											
29	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing	-	1	-	-	-	B-P	hb	acf	χ	k
30	<i>T. flocculosa</i> (Roth) Kützing	1	1	-	1	1	B-P	hb	acf	o-α	a-a
Класс Bacillariophyceae Порядок Eunotiales Семейство Eunotiaceae											
31	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	1	1	1	-	-	B	i	acf	o	k
32	<i>*E. incisa</i> W. Smith ex Gregory	-	1	-	-	-	B	-	acf	α-β	k
33	<i>*E. serra</i> Ehrenberg	1	-	-	-	-	B	hb	acf	o-β	a-a

продолжение таблицы 2

№ п/п	Таксон	Место отбора проб					Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
		1	2	3	4	5					
Порядок Cymbellales Семейство Cymbellaceae											
34	<i>Cymbella affinis</i> Kützing	1	1	1-2	-	1	B	i	alf	β-о	k
35	* <i>C. amplificata</i> Krammer	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	<i>C. cistula</i> (Ehrenberg) Kirchner	-	1	1	-	-	B	i	alf	о	b
37	<i>C. turgidula</i> Grunow	1	1	1	-	-	B	-	i	-	k
38	* <i>Encyonema caespitosum</i> Kützing	-	-	1	-	-	B	i	-	β-α	k
39	<i>E. minutum</i> (Hilse ex Rabenhorst) Mann	1	1-2	-	1	1	B	i	i	о	k
40	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) Mann	1-2	1-2	1	-	2	B	i	i	χ-о	k
41	<i>Placoneis elginensis</i> (Gregory) E.J. Cox	-	-	-	-	1	B	i	i	χ-о	k
Семейство Gomphonemataceae											
42	* <i>Gomphoneis olivaceum</i> (Hornemann) Dawson ex Ross et Sims	1	1-2	1-3	-	2	B	i	alf	β	k
43	<i>G. quadripunctatum</i> (Oestrup) Dawson ex Ross et Sims	-	1	-	-	-	B	i	i	-	b
44	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg	-	1	1	-	1	B	i	alf	χ-β	b
45	* <i>G. affine</i> Kützing	1	-	-	-	-	B-P	-	-	о-β	k
46	<i>G. angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	2	1-2	2	1-3	5-6	B	i	alf	β	k
47	* <i>G. angustum</i> Agardh	1-2	1	1	-	-	B	i	alf	о	b
48	<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	1	1	1	-	-	B	i	alf	β	b
49	<i>G. productum</i> (Grunow) Lange-Bertalot et Reichelt	1	-	-	-	1	B	i	alf	β	k
50	<i>G. truncatum</i> Ehrenberg	1	1	2	1	2	B-P	i	alf	β-о	k
51	<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolec et Stoermer	1	1	1	-	-	B	i	alf	β	b
Порядок Achnanthales Семейство Cocconeidaceae											
52	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	1	1	-	-	-	B	i	alf	β	k
Семейство Achnanthidiaceae											
53	* <i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	1-3	2-4	3-4	1-3	1-4	B	i	i	β	k
54	* <i>Eucocconeis laevis</i> (Oestrup) Lange-Bertalot	1	-	-	-	-	B	-	-	о	-

продолжение таблицы 2

№ п/п	Таксон	Место отбора проб					Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
		1	2	3	4	5					
55	<i>*Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round et Bukhtiyarova	-	-	-	-	1	P	hl	-	-	-
56	<i>*P. haynaldii</i> (Schaarschmidt) Lange-Bertalot et Genkal	1	1	1	1	-	B	-	alf	β-α	k
57	<i>P. lanceolatum</i> (Brébisson) Lange-Bertalot	1	1-2	1	-	1	B	i	alf	χ-о	k
58	<i>*Rossithidium linearis</i> (W. Smith) Round et Bukhtiyarova	-	-	-	-	1	B	i	i	χ-о	k
Порядок Naviculales Семейство Diadesmidaceae											
59	<i>Luticola mutica</i> (Kützing) Mann	-	-	-	-	1	B	i	i	χ-β	a-a
Семейство Amphipleuraceae											
60	<i>*Frustulia amphipleuroides</i> (Grunow) Cleve-Euler	-	1	-	-	-	B	hb	acf	-	a-a
61	<i>F. rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	-	1	-	-	-	B	hb	acf	χ-β	a-a
62	<i>F. vulgaris</i> (Thwaites) De Toni	1	-	-	-	-	B	hb	alf	χ-β	b
Семейство Sellaphoraceae											
63	<i>*Sellaphora laevisima</i> (Kützing) Mann	1	-	-	-	-	B	-	-	-	-
64	<i>S. pupula</i> (Kützing) Mann	1	-	1	-	-	B	hl	i	β	k
Семейство Pinnulariaceae											
65	<i>*Pinnularia alpina</i> W. Smith	-	1	-	-	-	B	-	acf	-	a-a
66	<i>P. borealis</i> Ehrenberg	1	-	-	-	-	B	i	i	о-β	k
67	<i>*P. divergens</i> W. Smith var. <i>undulata</i> (Peragallo et Héribaud) Hustedt	-	-	1	-	-	B	i	i	о-β	a-a
68	<i>*P. nodosa</i> (Ehrenberg) W. Smith	1	-	-	-	-	B	i	i	о	a-a
Семейство Naviculaceae											
69	<i>*Navicula avenacea</i> (Brébisson et Godey) Brébisson ex Grunow	1	1	-	-	-	B	i	alf	о-β	k
70	<i>*N. cryptotenella</i> Lange-Bertalot	1	1	1	-	-	B	i	alf	о-β	k
71	<i>*N. margalithii</i> Lange-Bertalot	-	1	-	-	-	B	hl	alf	о	-
72	<i>N. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing	-	1	1	-	-	B	mh	alf	-	k
73	<i>*N. rhynchocephala</i> Kützing	-	1	1	1	1	B	i	alf	a	k

продолжение таблицы 2

№ п\п	Таксон	Место отбора проб					Местообитание	Галобность	pH	S	Распространение
		1	2	3	4	5					
74	* <i>N. slesvicensis</i> Grunow	1	1	1	-	-	B	hl	i	β	k
Семейство Stauroneidaceae											
75	<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) Mann	-	-	1	-	-	B	i	alf	o	k
76	* <i>C. halophila</i> (Grunow) Mann	-	-	-	-	2	B	-	alf	-	k
Порядок Thalassiophysales Семейство Catenulaceae											
77	* <i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow	1	1	1	-	1	B	i	alb	o	k
Порядок Bacillariales Семейство Bacillariaceae											
78	* <i>Denticula kuetzingii</i> Grunow	-	-	1	-	-	B	i	alb	o-β	b
79	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	1	-	1	-	1	B	i	alf	β-o	k
80	* <i>Nitzschia brevissima</i> Grunow	1	1	-	-	-	B	i	i	χ-o	k
81	* <i>N. fonticola</i> Grunow	-	-	-	-	1-4	B	i	alf	o	b
82	<i>N. frustulum</i> (Kützing) Grunow	1	-	1	-	-	B	hl	alb	o	k
83	* <i>N. gracilis</i> Hantzsch var. <i>gracilis</i>	-	1	-	-	-	B	i	alf	β	k
84	* <i>N. gracilis</i> Hantzsch var. <i>minor</i> Skabitschewsky	-	-	1	-	-	B	-	-	β	-
85	* <i>N. graciliformis</i> Lange-Bertalot et Simonsen	1	-	-	-	-	B	-	-	-	-
86	* <i>N. nana</i> Grunow	-	1	-	-	-	-	-	-	α-β	-
87	<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith	3	1-2	2-3	1-3	3-4	B	i	i	α-β	k
Порядок Rhopalodiales Семейство Rhopalodiaceae											
88	* <i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson	1	-	-	1	-	B	i	alb	β-α	k
89	<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller	1	-	-	-	-	B	i	alb	χ-o	b
90	* <i>Rh. musculus</i> (Kützing) O. Müller	-	-	-	-	1	B-P	mh	alb	χ	k
Порядок Surirellales Семейство Surirellaceae											
91	<i>Surirella angusta</i> Kützing	1	1	-	-	1	B	i	alf	o	k
92	* <i>S. brebissonii</i> var. <i>kuetzingii</i> Krammer et Lange-Bertalot	-	1	1	-	2	B	-	-	β-α	-
93	<i>S. minuta</i> Brébisson	1	-	1	-	1	B	i	i	o-α	k

окончание таблицы 2

№ п\п	Таксон	Место отбора проб					Местообитание	Галобность	рН	S	Распространение
		1	2	3	4	5					
CHLOROPHYTA Класс <i>Ulvophyceae</i> Порядок <i>Ulotrichales</i> Семейство <i>Ulotrichaceae</i>											
94	<i>Ulothrix zonata</i> (Weber et Mohr) Kützing	-	-	-	-	1-2	В-Р	i	i	о-α	k

Примечание: Частота встречаемости организмов указана по шестибальной шкале:

1 – единично, 2 – редко, 3 – нередко, 4 – часто, 5 – очень часто, 6 – масса (Кордэ, 1956).

«-» – нет данных, «*» – виды, впервые отмеченные для бассейна р. Рудная.

Место отбора проб: 1 – 55 км от устья, 2 – 45 км от устья, 3 – 36 км от устья, 4 – 20 км от устья; 5 – 2 км от устья.

Местообитание: Р – планктонные, В-Р – бентосно-планктонные, В – бентосные, Е – эпифитные, В-Е – бентосно-эпифитные. Галобность: mh – мезогалобы, hl – галофилы, hb – галофобы, i – индифференты.

Отношение к рН: alf – алкалофилы, alb – алкалобиоты, asc – ацидофилы, i – индифференты. Сапробность: χ – ксеносапробионт, χ-о – ксено-олигосапробионт, о-χ – олиго-ксеносапробионт, χ-β – ксено-бетамезосапробионт, о – олигосапробионт, о-α – олиго-альфамезосапробионт, о-β – олиго-бетамезосапробионт, β – бета-мезосапробионт, β-α – бета-альфамезосапробионт, α-β – альфа-бетамезосапробионт, α – альфа-мезосапробионт.

мально высокие общие значения численности (N) принадлежат золотистым водорослям (*Hydrurus foetidus*) и биомассы (B) – диатомовым (табл. 3).

На участке выше Дальнегорска (36 км от устья р. Рудная) в обрастаниях камней отмечены только диатомовые водоросли, из них с оценками встречаемости «часто»–«очень часто» преобладают виды рода *Fragilaria* (*F. capucina* var. *gracilis*, *F. capucina* var. *rumpens* и *F. vaucheriae*). Общие показатели численности и биомассы диатомей данного участка реки равны 0,25 млрд кл./м² и 0,23 г/м² (табл. 3).

Альгосообщества р. Рудная ниже г. Дальнегорск (20 км от устья) отличаются бедным составом, представленным всего 19 внутривидовыми таксонами цианопрокариот и диатомовых водорослей. Максимальную оценку обилия «нередко» имеют диатомеи *Gomphonema angustatum*, *Achnantheidium minutissimum*, *Nitzschia palea*, а также *Chlorogloea* sp. из цианопрокариот. Определяющий вклад в суммарное значение числен-

Таблица 3

Количественные показатели перифитонных альгосообществ в р. Рудная (август 2013 г.)

Место отбора проб	Cyanoprokaryota		Chrysophyta		Bacillariophyta		Chlorophyta		Всего	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
55 км от устья	0,051	0,003	-		0,111	0,112	-		0,162	0,115
45 км от устья	0,044	0,003	0,607	0,091	0,110	0,113	-		0,761	0,207
36 км от устья	-		-		0,250	0,233	-		0,250	0,233
20 км от устья	0,457	0,027	-		0,056	0,065	-		0,513	0,092
2 км от устья	-		-		1,441	1,468	0,100	0,271	1,542	1,739

Примечание. N – численность водорослей, млрд кл./м²; B – биомасса, г/м².

ности и биомассы принадлежит не идентифицированному до вида *Chlorogloea* sp. ($N=0,46$ млрд кл./м², $V=0,03$ г/м²). На этом участке зафиксировано низкое жизненное состояние водорослей, косвенно свидетельствующих о неблагоприятных факторах водной среды, – большое количество уродливых створок диатомовых, пустых клеток или с деформированными хлоропластами, кроме того здесь в массе отмечены сильно деформированные талломы, возможно, цианопрокариотических и золотистых водорослей.

В перифитоне нижнего течения реки (2 км от устья) к числу доминантов отнесены диатомеи *Diatoma moniliforme*, *Fragilaria capucina* var. *rumpens* и *Gomphonema angustatum*, а субдоминантов – *Fragilaria capucina* var. *capucina* и *Ulnaria acus*. По сравнению с выше-расположенными участками реки, в устье общие количественные показатели водорослей перифитона являются максимально высокими ($N=1,54$ млрд.кл./м², $V=1,74$ г/м²), и их основная доля приходится на Bacillariophyta (табл. 3).

Эколого-географический анализ показал, что в альгофлоре реки Рудной преобладают бентосные (73,4 % от общего числа флоры), алкалифильные (40,4 %), индифферентные к солёности воды (58,5 %) и широко распространенные (58,5 %) виды. Показателями степени сапробности воды являются 86,2 % от общего числа таксонов в альгофлоре изученного района. Преобладают олигосапробионты и бетамезосапробионты, которых отмечено 35,1 и 31,9 %, соответственно. Доля других сапробиологических групп менее значительна: ксеносапробионты составляют 12,8 %, а альфамезосапробионты – 6,4 % от общего числа таксонов.

Оценка качества вод р. Рудная методом Пантле–Бука в модификации Сладечека показала, что в августе 2013 г. воды в верхнем течении реки принадлежали к олигосапробной зоне и соответствовали II классу чистоты (табл. 4). В среднем течении реки качество вод ухудшается, индекс сапробности повышается до максимального значения ($S=2,03$) ниже г. Дальнегорск, воды переходят в бетамезосапробную зону и классифицируются III классом (слабозагрязненные воды).

В целом, нами получены результаты, сходные с данными исследований, проведенных в 70–90-е годы (Медведева и др., 1986; Барина, Медведева, 1987; Varinova et al., 2008; Medvedeva et al., 2012). Согласно названным литературным источникам, участок реки выше г. Дальнегорск отнесен к олигосапробной зоне и индекс сапробности (S) в течение нескольких лет изменялся от 1,22–1,86. Ниже г. Дальнегорск отмечено худшее качество вод, отнесенных к бетамезосапробной зоне ($S=1,74–2,3$), ниже города отмечено падение количества видов до 15 (в верховье реки – 86 таксонов) и максимально высокие показатели индекса Пантле–Бука, равные 2,05–2,55. На нижнем участке реки наблюдается возрастание количества видов до 78 и колебание индекса сапробности в пределах 1,93–2,44. Значения индекса сапробности, полученные летом 2013 г. (1,35–2,03) находятся на нижней границе данных, полученных 20–30 лет назад. Этот факт позволяет предположить,

Таблица 4

Сапробные показатели р. Рудная (август 2013 г.)

Место отбора проб	Количество видов и внутривидовых таксонов	Количество видов – индикаторов сапробности	Индекс сапробности (S)	Степень сапробности	Класс чистоты воды
55 км от устья	58	42	1,42	о-β	II
45 км от устья	55	41	1,35	о	II
36 км от устья	49	36	1,51	β-о	III
20 км от устья	19	15	2,03	β	III
2 км от устья	45	37	1,53	β-о	III

что, возможно, произошло улучшение качества вод, связанное с уменьшением органического загрязнения р. Рудная.

Выводы

Таким образом, несмотря на уменьшение масштабов производства за последние 20–25 лет, воды среднего и нижнего течения р. Рудная продолжают содержать макроионы и некоторые халькофильные металлы в количестве на порядок выше фонового. Концентрации растворенных форм Zn, Cd, Pb в среднем течении реки даже возрастают, хотя к устьевому створу межгодовой тренд изменения концентрации растворенных металлов нивелируется. Наиболее вероятной причиной сохранения повышенного содержания ряда растворенных веществ является преобладающая роль дренажа горнорудных объектов в балансе речного стока металлов (Zn, Cd, Pb) и некоторых макроионов (SO_4^{2-}). Кроме того, для растворенных форм фосфора наблюдается тенденция увеличения среднегодовых концентраций за последние 10–12 лет. Сохраняющийся аномальный химический состав вод р. Рудная означает продолжение негативного антропогенного влияния на состояние экосистемы реки. В верхнем течении реки – ниже п. Краснореченск, но выше г. Дальнегорск это негативное влияние обусловлено влиянием шахтных вод и выражается в повышенной концентрации растворенных форм ряда металлов. Ниже г. Дальнегорск антропогенная нагрузка носит более комплексный характер за счет влияния промышленных и коммунально-бытовых стоков и сопровождается повышением концентрации как металлов, так и некоторых макро-ионов (сульфатов) и биогенных соединений, прежде всего фосфатов.

Принципиальный характер распределения водорослей перифитона по течению р. Рудная за последние 20–30 лет не изменился: верховья реки остались олигосапробными с высоким видовым разнообразием альгосообществ, а ниже г. Дальнегорск количество видов водорослей перифитона минимально, индекс сапробности максимален. Показатели перифитонных альгосообществ свидетельствуют о достаточно благополучном состоянии в верхнем течении реки, несмотря на явное загрязнение металлами. Судя по снижению значений индекса сапробности в среднем и нижнем течении р. Рудная по сравнению с данными 1978–1990 гг., можно предположить некоторое улучшение экологической обстановки.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность к.б.н. Черновой Е.Н. (ТИГ ДВО РАН) за помощь в сборе альгологического материала. Работа поддержана грантами ОБН РАН №12-1-П30-01 (руководитель чл.-корр. В.В. Богатов) и ОНЗ РАН №12-1-ОНЗ-22 (руководитель д.г.н. В.М. Шулькин).

ЛИТЕРАТУРА

- Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. 1990.** Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука. 196 с.
- Аржанова В.С. 2010.** Влияние горнопромышленного техногенеза на речные воды // География и природные ресурсы. №1. С. 39–44.
- Барина С.С., Медведева Л.А. 1987.** Биологический анализ качества воды основных водоемов Приморского края // Донные беспозвоночные рек Дальнего Востока и Восточной Сибири. Вопросы продуктивности и биоиндикации загрязнений. Владивосток: ДВО АН СССР. С. 57–63.
- Водоросли. Справочник. 1989.** Киев: Наукова думка. 608 с.
- Елпатьевский П.В. 1993.** Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука. 253 с.

- Кордэ Н.В. 1956.** Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // Жизнь пресных вод СССР. М., Л.: Изд-во АН СССР. Т. 4. Ч. 1. С. 383–413.
- Куракин, С.А., Заньков А.П. 2000.** Геологическая служба Приморья (50 лет со дня основания). Владивосток: Дальнаука. 159 с.
- Медведева Л.А., Барина С.С., Кухаренко Л.А. 1986.** Санитарно-биологическая характеристика бассейна реки Рудная // Донные организмы пресных вод Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 108–115.
- Сладечек В. 1967.** Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука. С. 26–31.
- Шаров П.О. 2005.** Загрязнение свинцом пос. Рудная Пристань и её влияние на здоровье детей. Владивосток: Дальнаука. 132 с.
- Шулькин В.М., Коженкова С.И., Христофорова Н.К., Чернова Е.Н. 2003.** Металлы в различных компонентах прибрежно-морских экосистем Сихотэ-Алинского биосферного района // Геоэкология. № 4. С. 318–327.
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Nevo E. 2008.** Regional influences on algal biodiversity in two polluted rivers of Eurasia (Rudnaya River, Russia, and Qishon River, Israel) by bioindication and Canonical Correspondence Analysis (CCA) // Applied ecology and environmental research. V. 6, N 4. P. 29–59.
- Medvedeva L.A., Barinova S.S., Semenchenko A.A. 2012.** Use of Algae for Monitoring Rivers in the Monsoon Climate Areas (Russian Part of Asian Pacific Region) // Intern. J. of Environment and Resource. V. 1, Is. 1. P. 39–44.
- Pantle F., Buck H. 1955.** Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. Bd 96, N 18. 604 S.
- Shulkin V.M. 1998.** Pollution of the coastal bottom sediments at the Middle Primorie (Russia) due to mining activity // Environmental Pollution. V. 101. P. 401–404.