

УДК 556.5:550.42:582.26:502

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СОСТАВ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ДОННЫХ ОСАДКОВ Р. ШУИ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Т. С. Шелехова, Н. В. Крутских

Институт геологии Карельского научного центра РАН

На основе комплексного изучения концентраций тяжелых металлов и диатомового анализа приповерхностных донных осадков проведена оценка загрязнения и воздействия токсикантов на диатомовые комплексы в нижнем течении р. Шуи. При повышении содержания тяжелых металлов значительно возрастает доля галофилов, появляются некоторые мезогалобы, снижается или выпадает из сообщества ряд планктонных диатомей рода *Aulacoseira* sp., которые вытесняются более толерантными видами *Aulacoseria granulata* var. *angustissima*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *N. rhyncocephala*, *N. viridula*, многими видами рода *Nitzschia* sp. Выявлена взаимосвязь геохимических данных и диатомовых комплексов и их зависимость от различных факторов среды: характера русла, типа техногенной нагрузки.

К л ю ч е в ы е с л о в а: донные отложения, оценка состояния, диатомовые комплексы, река Шуя, Карелия.

T. S. Shelekhova, N. V. Krutskikh. GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND COMPOSITION OF THE DIATOM COMPLEXES OF BOTTOM SEDIMENTS IN THE SHUYA RIVER (RUSSIAN KARELIA)

Based on the results of the integrated study of heavy metal concentrations and analysis of diatoms from subsurface bottom sediments, the contamination of the lower Shuya River and the effect of toxic substances on diatom complexes there were assessed. As heavy metal concentrations rise, the percentage of halophilic organisms increases considerably, some mesohalobic species emerge and some planktonic diatoms of the genus *Aulacoseira* sp., ousted by the more tolerant species *Aulacoseria granulata* var. *angustissima*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *N. rhyncocephala* and *N. viridula*, and by many species of the genus *Nitzschia* sp., become less abundant or “drop out” from the community. Geochemical characteristics and diatom complexes were found to be related to various environmental factors such as river bed properties and the type of human-induced load.

Key words: bottom sediments, assessment of condition, diatom complexes.

Введение

Речные системы часто являются объектами техногенного воздействия и испытывают влияние различных источников загрязнения: сель-

скохозяйственных, промышленных, селитебных. Оценка такой трансформации является одной из задач экологии, для решения которой информативным объектом исследования являются донные отложения. Химический состав

донных отложений рассматривается как интегральный индикатор антропогенной нагрузки на реку и ее водосбор, отражает среднее загрязнение за длительный период и играет существенную роль в определении состояния водных экосистем [Экологические функции..., 2000]. Современная аппаратура не всегда может сравниться с «живыми приборами», индикаторами загрязнений – диатомовыми водорослями, реагирующими на различные изменения, связанные с воздействием комплекса факторов, включая тяжелые металлы.

Цель исследования – комплексное изучение геохимического состава и структуры диатомовых комплексов донных осадков на участках реки, в разной степени подверженных антропогенной трансформации.

Материалы и методы

Река Шуя (Онежская) берет начало в северо-восточной оконечности оз. Суоярви (62°13'51" с. ш. 32°27'31" в. д.) и впадает в оз. Логозеро (61°52'41" с. ш. 34°17'56" в. д.), соединяющееся с Онежским озером небольшой протокой. Она протекает по территории Суоярвского, Пряжинского и Прионежского районов Карелии. Длина реки 200 км, уклон 0,54 м/км, ширина до 70–100 м, на порогах – сужения до 20–40 м [Ресурсы..., 1972].

Исследование донных отложений проведено в августе 2010 г. Всего в нижнем течении реки, в пределах территорий с повышенной техноген-

ной нагрузкой взято 22 пробы донных осадков (рис. 1). Пробы отбирались в основном с наилка у берега примерно через 500 м, а на ненарушенных территориях – более чем через 1 км. В связи с жарким летом уровень воды установился на низких отметках, и точки отбора соответствовали глубине 0,3–0,5 м для среднего уровня. По гранулометрическому составу пробы преимущественно суглинистые, реже супесчаные. Для химического анализа использовалась фракция размером менее 0,1 мм, так как тонкие осадки геохимически наиболее информативны [Янин, 2004]. Химический анализ донных отложений проведен в аналитической лаборатории Института геологии КарНЦ РАН квадрупольным масс-спектрометром X-SERIES 2 (Terhmo scientific) с определением содержания 49 элементов.

Техническая обработка проб и приготовление постоянных препаратов на диатомовый анализ производились по общепринятой методике [Диатомовый анализ..., 1949, 1950; Давыдова, 1985]. Образцы дезинтегрировались в пирофосфорнокислом натрии с последующей отмывкой от него методом декантации. Для подъема диатомей использовалась калиево-кадмиевая тяжелая жидкость. В качестве твердой среды применялась анилин-формальдегидная смола (показатель преломления 1,68). Подсчет и определение створок диатомей проводились по горизонтальному ряду в средней части стекла до 250 экземпляров. По возможности створки идентифицировались до вида, разновидности и формы. При этом использовалась справочная

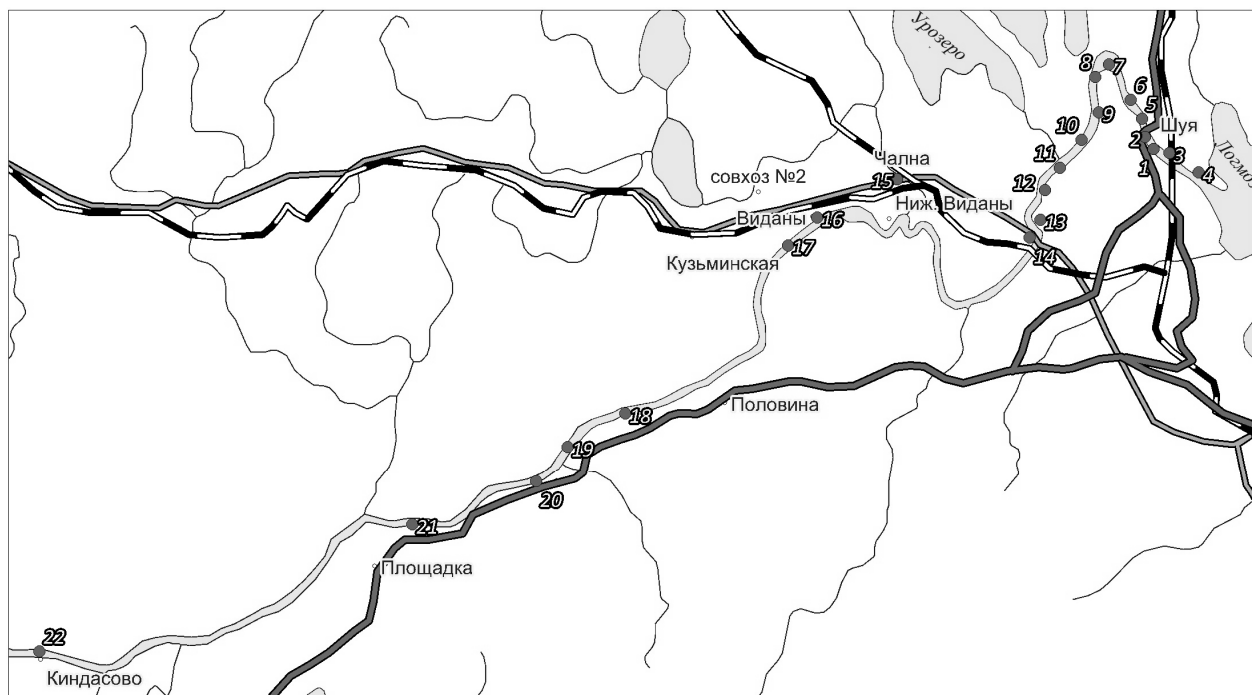


Рис. 1. Схема района исследований

литература [Диатомовый анализ..., 1949; 1950; Диатомовые водоросли..., 1951; Molder, Tynni, 1967–1973; Tynni, 1975–1980; Krammer, Lange-Bertalot, 1986]. Для выявления роли отдельных видов и состава доминирующих комплексов диатомеи подразделялись на: единичные, численность которых в осадках составляет менее 1 %; обычные – 1–5 %; массовые – более 5 %. Среди последних выделялись доминанты, численность створок которых составляла более 10 %, и субдоминанты – от 5 до 10 %.

По результатам диатомового анализа в каждой точке наблюдений (т. н.) установлен видовой состав, эколого-географические характеристики сообществ: процентное соотношение видов по местообитанию, по типу ареалов, по галобности и отношению к рН. Эколого-географические характеристики видов даны по [Давыдова, 1985; Лосева, 2000; Комулайнен и др., 2006; Баринаова и др., 2006].

Результаты и обсуждение

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях. Наибольший интерес в связи с экологической направленностью работы представляет группа технофильных тяжелых металлов, включающая Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Sn, Ba, Pb, U и As. По содержанию этих элементов в донных отложениях р. Шуи были вычислены основные статистические характеристики, дающие общее представление об особенностях их распределения. Результаты химического анализа донных отложений сравнивались с ПДК для почв, кларком для почв, средними значениями содержания элементов в почвах г. Петрозаводска (табл. 1)

Для определения ассоциаций химических элементов, характерных для различных типов экосистем в пределах изучаемого участка, проведен кластерный анализ методом простой связи с применением критерия Пирсона. Так

как выборки характеризуются логнормальным распределением, при анализе использовались логарифмы содержания элементов в донных отложениях. Для отложений р. Шуи получены следующие ряды элементов: 1) Mn, Co; 2) Cd, Zn, Cu, Pb (рис. 2).

Высокое содержание Co и Mn выявлено в районе поселков Кузьминское, Виданы (т. н. 16, 17), Бесовец (т. н. 14), Матросы (т. н. 20, 21) и Шуя (т. н. 6) (рис. 3). Низкие концентрации зафиксированы на участке от пос. Бесовец до излучины реки у пос. Шуя, а также в нижнем течении реки (т. н. 3, 4). Значение медианы для Mn не превышает ПДК, однако в некоторых пробах выявлено его семикратное превышение (т. н. 16, 17). По кобальту превышений ПДК и кларков не выявлено, но его содержание в донных отложениях в 1,5–2 раза выше фона по г. Петрозаводску.

Ассоциация Pb, Cd, Zn, Cu тяготеет к территориям с повышенной техногенной нагрузкой. Pb, Cd, Zn – элементы 1-го класса опасности, Pb – основной элемент-загрязнитель урбанизированных территорий. Значительное повышение его концентрации наблюдается у автомобильных и железных дорог [Экологические функции..., 2000]. В пределах исследуемого участка максимальные концентрации свинца отмечены в пределах селитебного участка реки (пос. Шуя, Бесовец), местами достигая значений ПДК для почв (рис. 4). Аналогичная ситуация наблюдается для Cd, Zn, Cu. Значение медианы содержания этих элементов в донных отложениях р. Шуи соответствует фоновым концентрациям для г. Петрозаводска.

Содержание As в донных осадках р. Шуи варьирует от 1,8 до 19,5 мг/кг (M = 5,4; Me = 3,9). Такие концентрации являются повышенными относительно ПДК для почв (2 мг/кг) и кларковых значений (1,7 мг/кг). В почвах г. Петрозаводска также наблюдается высокое содержание мышьяка, рассчитанные фоновые значения составля-

Таблица 1. Содержание элементов в донных осадках р. Шуи, мг/кг

	Mn	Co	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Ba	Pb	U
Среднее	2446,73	13,05	22,11	82,43	5,35	1,64	3,48	674,04	20,87	1,16
Медиана	1147,84	12,18	16,80	79,35	3,95	1,65	1,88	661,71	20,32	1,06
Стандартное отклонение	2883,42	4,59	14,90	28,97	4,16	0,25	4,04	102,62	6,67	0,71
Минимум	403,84	6,56	10,64	33,45	1,79	1,18	0,87	533,66	11,03	0,56
Максимум	10415,03	25,93	75,14	130,81	19,49	2,06	15,18	1087,84	37,70	4,16
Количество проб	21	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Класс опасности по [ГОСТ 17.4.1.02-83]	3	2	2	1	1	1	1		1	
ПДК [ГН 2.1.7.2041-06]	1500	50	55	100	2		1		32	
Средние значения для почв Петрозаводска [Рыбаков и др., 2011]	400	7,1	31,46	82,1	2	1,9	1,4		20,6	
Кларк по А. П. Виноградову [Войткевич и др., 1990]	1000	18	47	83	1,7		0,1		16	

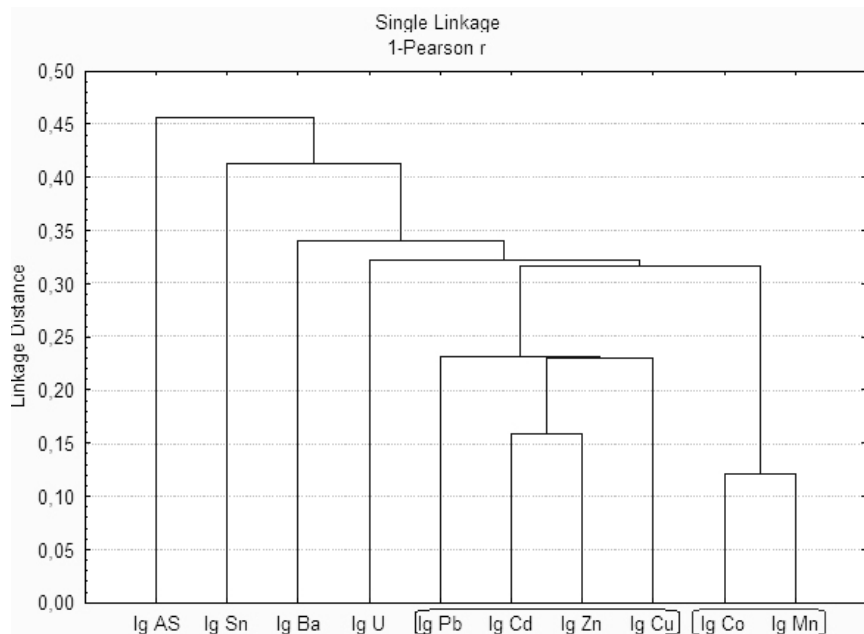


Рис. 2. Дендрограмма кластерного анализа по данным химического анализа донных отложений

ют 2 мкг/кг [Рыбаков и др., 2011]. Отмечено, что максимальные концентрации приурочены к периферийным участкам города, а в центральных частях они снижены и чаще не достигают предела чувствительности метода анализа. Это в значительной мере связано с геологическим строением территории и подтверждается содержанием мышьяка в донных осадках р. Шуи.

Состав флоры. Диатомовый анализ выявил некоторые общие особенности диатомовой флоры, характерные для всех точек исследования. Сохранность створок во всех образцах

очень плохая. Многие из них корродированы, а внутренние поры забиты очень тонким органическим материалом, что создает большие трудности при определении видов. Это можно объяснить плохими условиями захоронения и слабощелочной средой, которые приводят к разрушению створок. (По данным Института водных проблем Севера КарНЦ РАН [Изучение..., 2007. С. 49], р. Шуя относится к низкощелочным водным объектам.) Размеры створок многих видов меньше обычных (средних), что говорит об угнетенности флоры.

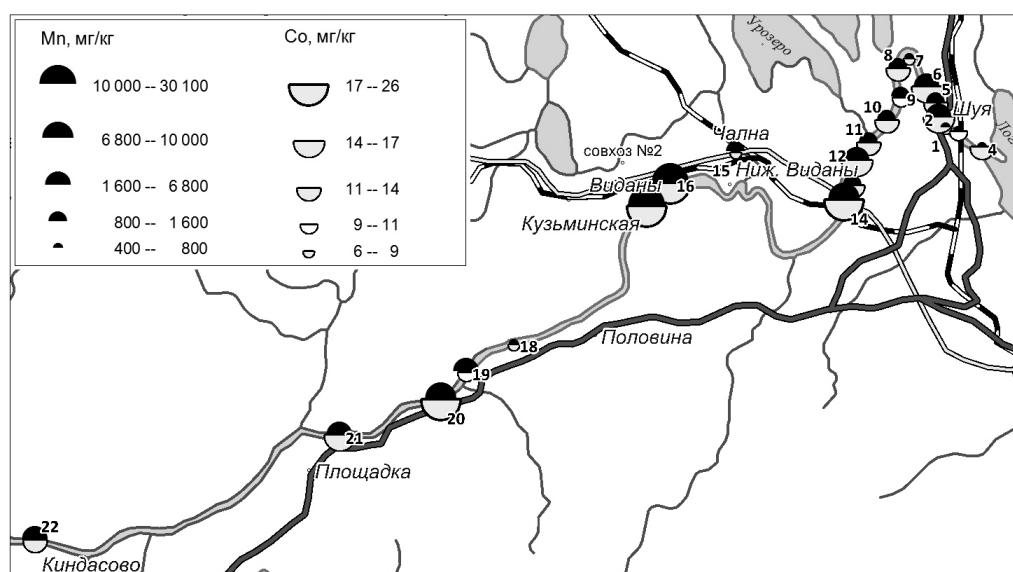


Рис. 3. Распределение Mn и Co в донных отложениях р. Шуи

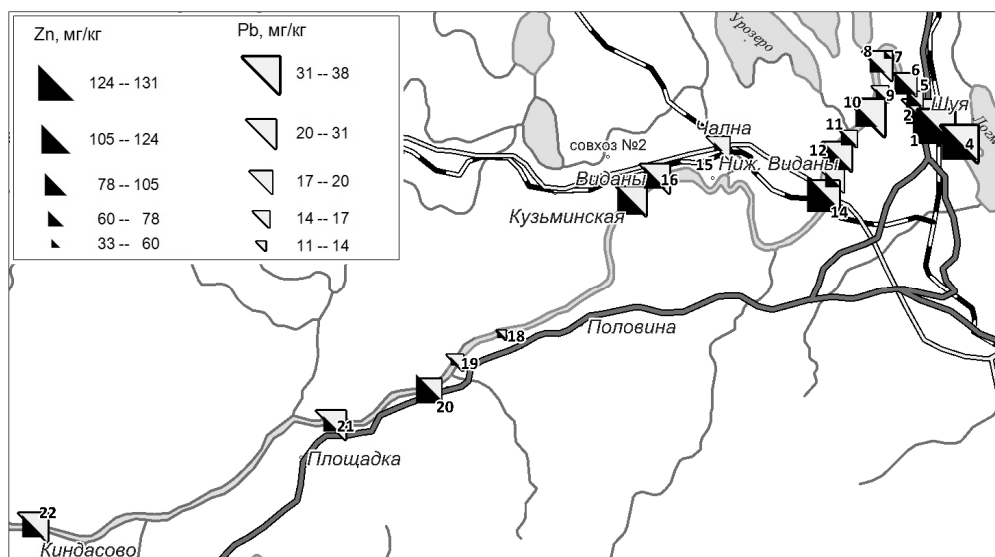


Рис. 4. Распределение Pb и Zn в донных отложениях р. Шуй

Общий систематический список (табл. 2) насчитывает 273 таксона диатомовых водорослей, относящихся к 27 родам; составлен в алфавитном порядке по системе, принятой в отечественных определителях [Диатомовый анализ..., 1949], с учетом некоторых таксономических преобразований [Krammer, Lange-Bertalot, 1986 и др.].

Анализ флоры диатомей. Экологический анализ флоры выявил различия в соотношении планктонных, донных и видов-обрастателей, на основании чего можно судить о природном и антропогенном эвтрофировании и даже загрязнении. В большинстве исследованных точек преобладают планктонные, однако иногда они вытесняются донными формами и видами из обрастаний; это будет подробно описано ниже. Установлено, что по отношению к галобности во всех исследованных точках доминируют индифференты, однако наблюдаются значительные колебания в численности галофилов (от 2 до 70 % от общего состава флоры). В отдельных точках исследования появляются и исчезают мезогалобы, причем большинство из них – донные формы, развивающиеся в слое наилка в условиях повышенной минерализации воды, что может свидетельствовать о поступлении в реку различных химических элементов и указывать на загрязнение. По отношению к кислотности водной среды количественно в большинстве образцов преобладают алкалофильные виды (32–90 %) при значительной доле ацидофилов (5–50 %) и небольшом присутствии индифферентов (5–25 %), отражая слабощелочные условия среды местообитания. Подтверждением этому является и очень плохая сохранность створок. Интересно заметить, что для большин-

ства карельских водоемов характерно преобладание по отношению к кислотности водной среды видов-индифферентов (66 %) при значительной доле алкалофильных (24 %) и ацидофильных (10 %) форм [Комулайнен и др., 2006. С. 16]. Однако в исследованных точках в донных осадках р. Шуй этот показатель резко отличается от средних по Карелии.

Состав диатомовых комплексов заметно варьирует. Особенно четко прослеживаются изменения по местообитанию видов и экологической структуре. Среди основных доминантов можно выделить планктонные виды: рода *Aulacoseira* с вариациями, *Melosira varians*. Остальные планктонные – *Stephanodiscus* sp., *S. astraea*, *Cyclotella stelligera*, *C. kuetzingiana* – в виде единичных створок спорадически появляются во всех образцах и играют лишь подчиненную роль. В группе донных главные доминанты – диатомовые двух родов: *Navicula* (*N. cryptocephala* и *N. rhyncocephala*) и *Nitzschia*. Среди последних из-за плохой сохранности створок преобладающие формы выделить не удалось. Остальные очень разнообразные донные формы *Surirella* sp., *Pinnularia* sp., *Frustulia* sp. и др. встречаются единично. В одной точке, расположенной ближе всего к устью, в качестве господствующей группы выступают виды обрастаний рода *Fragilaria* и др. Большинство обрастателей – *Gomphonema*, *Surirella*, *Diatoma*, *Tabellaria flocculosa*, *T. fenestrata*, *Achnanthes*, *Cymbella*, *Eunotia*, *Gomphonema lanceolatum*, *Cymbella* sp., *Meridion circulare*, *Eunotia* sp. и ряд донных видов *Pinnularia*, *Neidium affine*, *Frustulia rhomboides* – встречаются практически во всех образцах единично.

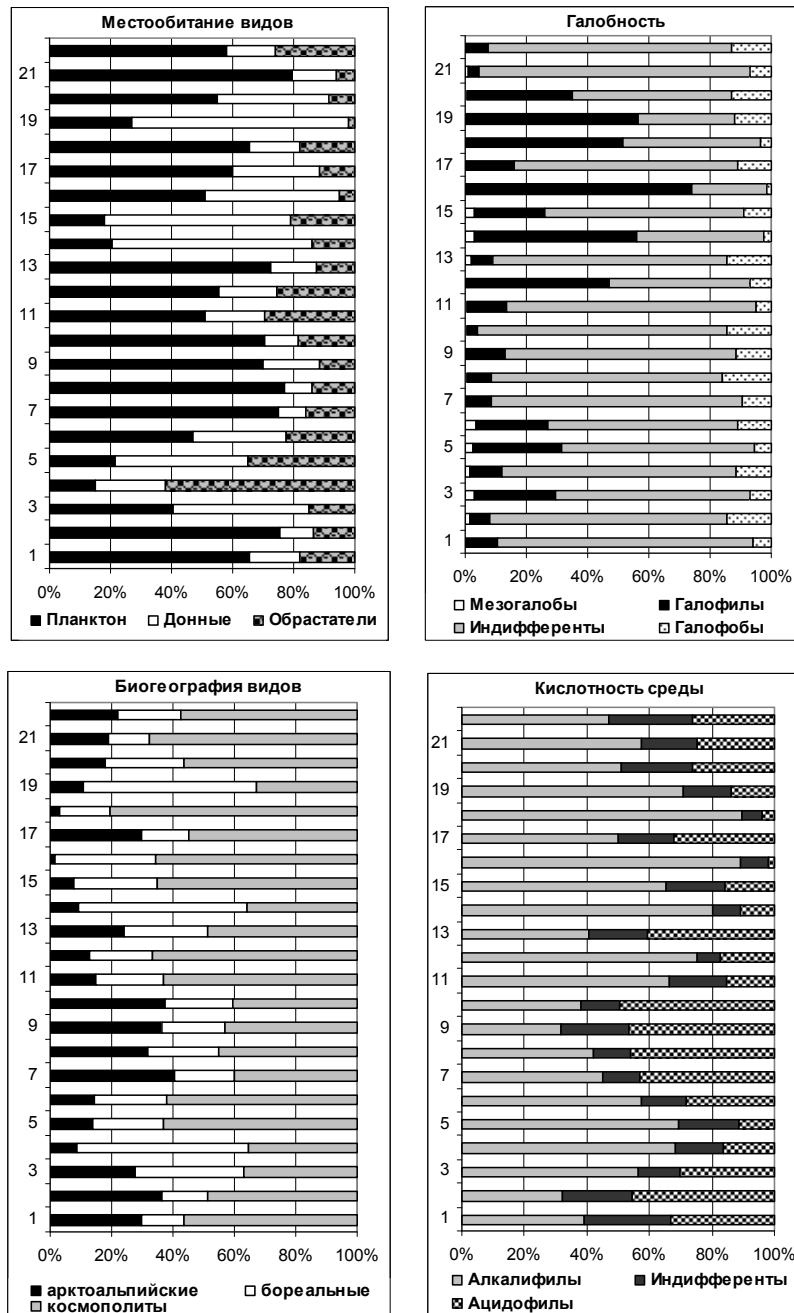


Рис. 5. Эколого-географические характеристики диатомовых комплексов в донных осадках р. Шуи

В структуре видов по типу местообитания наблюдаются следующие изменения. В точках наблюдений 22–18 преобладает в количественном отношении сообщество планктонных видов, составляя 60–80 % от общего состава флоры (рис. 5). Однако внутри планктонной группы видов вниз по профилю реки изменяется состав доминантов. Вначале (т. н. 22) доминируют виды рода *Aulacoseira*, которые затем постепенно вытесняются видом *Melosira varians*, достигающим более 40 % от общего состава в т. н. 18. Кроме того, вниз по течению среди *Aulacoseira* наблюдаются заметные

смены ассоциаций: *A. distans*, *A. italica*, *A. ambigua*, *A. granulata* сменяются *A. granulata* var. *angustissima*.

Некоторая перестройка происходит и в структуре донной группы: расширяется разнообразие *Navicula* и *Nitzschia*, возрастает их численность, среди них появляются отдельные мезогалобы. В т. н. 17 и 16 происходит существенное снижение общего содержания планктонных форм с 80 до 65 %, среди которых более значимую роль начинает играть *Melosira varians*, превосходя 42 % в общем составе флоры. В т. н. 16 последние полностью вытесняют род

Aulacoseira до единичных экземпляров, представленных видом *A. granulata* var. *angustissima*.

В группе содоминантов, которыми являются донные *Navicula* и *Nitzschia*, расширяется разнообразие и численность, а среди обрастателей появляются индикаторы эвтрофирования и загрязнения *Fragilaria crotonensis*. В т. н. 14 и 15 планктонные практически выпадают из сообщества, среди них обнаружены только единичные створки двух видов: *Aulacoseira distans* и *A. italica*, а *Melosira varians* полностью отсутствует. Главенствуют донные виды родов *Navicula* (9 видов) с доминантом *Navicula cryptocephala* и *Nitzschia* sp. Кроме этого, несколько повышено содержание обрастателей *Fragilaria crotonensis*. Следует заметить, что преобладающие донные формы относятся к галофилам и алкалифилам, появляется мезогалоб *Navicula peregrina*, а также не выявленные прежде *N. salinarum*, *N. gregaria*, *N. viridula*.

На участке с 13-й по 6-ю т. н. вновь господствует планктонное сообщество (75–50 %). Но именно в этих точках исследования отмечаются существенные и резкие изменения состава диатомовых в группе планктонных, которые связаны, вероятно, как с природными, так и с наложенными на них антропогенными факторами, отмечается увеличение видового разнообразия рода *Aulacoseira*. Кроме этого, здесь же заметно (до 8 %) возрастает доля *Cocconeis placentula*. А ближе к устью в т. н. 5 снова доминируют донные формы родов *Navicula* и *Nitzschia*, планктонные *Aulacoseira* составляют около 20 %, а *Melosira varians* не превышает 2 %. Это может быть связано как с обмелением русла, так и с антропогенным влиянием. Далее, в т. н. 2 и 1, господство донных сменяется главенствующей ролью довольно разнообразных планктонных видов рода *Aulacoseira* (до 75 %), а содержание *Melosira varians* остается прежним (около 2 %). В т. н. 3 количество планктонных и донных практически одинаково.

В самой близкой к устью реки т. н. 4 происходит полная перестройка в структуре комплекса: планктонное сообщество сменяется доминированием форм обрастаний и донных видов, что указывает на их развитие в мелководной зоне. Среди обрастателей вновь появляется галофил *Cocconeis placentula*, достигающий около 18 % от общего состава флоры, многочисленны и разнообразны *Fragilaria* (11 видов) – 24 %, появляются новые виды родов *Achnanthes*, *Gomphonema*, *Cymbella*, *Eunotia*. В донной группе постоянно присутствуют *Navicula* и *Nitzschia*.

Наиболее значимые отличия по точкам исследования отмечаются в структуре видов по галобности. Наибольшая доля галофилов (50–70 %)

характерна для участка от 20-й до 12-й точки со снижением их содержания до 10 % в т. н. 22, 21, 17, 13, 10 (Киндасово, Площадка, Кузьминское, Чална). Далее, начиная с т. н. 11, доля галофилов снижается до 30 %, в небольших количествах присутствуют мезогалобы. В значительной мере это связано с тем, что на данном участке русла усиливаются процессы подкисления среды.

Линейный корреляционный анализ, проведенный между содержанием химических элементов в пробе и данными диатомового анализа, выявил некоторые значимые связи. Так, разнообразие видов снижается с ростом содержания в донных осадках Mn и As ($r = -0,45$, при $r_{\text{крит}} = 0,42$), количество галофильных видов возрастает с увеличением Mn ($r = -0,44$). При увеличении содержания элементов 1 и 2 классов опасности (Cd, Sn, Cu) возрастает количество створок *Cocconeis placentula* ($r = 0,42-0,60$), следовательно, данный вид может быть индикатором загрязнения этими элементами. При увеличении содержания As (элемента 1 класса опасности) в количественном отношении возрастает доля *Melosira varians*, возможно, наиболее устойчивого к загрязнению данным элементом.

Выводы

На отдельных участках р. Шуи наблюдается увеличение численности *Melosira varians*, *Cocconeis placentula*, *Navicula cryptocephala* и *N. rhyncocephala*, *N. viridula*, а также появление *Rhoicosphenia curvata*, *Diatoma vulgare*, *Gomphonema parvulum*, *Epithemia sores* и ряда других галофильных и алкалифильных видов, что указывает на эвтрофирование под влиянием как естественных условий, так и антропогенных факторов, в том числе связанных с привнесением в реку различных химических элементов (Cd, Sn, Cu).

Повышенное содержание Mn, Ba, Co, As наблюдается в донных отложениях в изгибе меандры реки Шуи (т. н. 20, 21, 6), следовательно, можно предположить, что их накопление зависит от природных факторов, связанных с механизмом выноса и переотложения материала. Однако повышенное содержание Cu, Zn, Cd, Sn, Pb, U вблизи населенных пунктов, автомобильных и ж/д мостов, мест отдыха и дачных поселков, в самой близкой к устью точке можно отнести к влиянию антропогенных факторов.

Откликом диатомовых на загрязнение является выпадение из сообществ или значительное сокращение численности и разнообразия чувствительных к загрязнению представителей родов *Aulacoseira*, главным образом ацидофилов *A. distans*, *A. lyrata*, вытеснение *Aulacoseira*

granulata его формой *A. granulata* var. *angustissima*, единичное присутствие эпифитов *Cymbella*, *Achnanthes*, *Eunotia*, *Tabellaria* и замещение их толерантными видами из родов *Diatoma*, *Nitzschia*, *Gomphonema*, *Fragilaria*, *Navicula*, в частности *Navicula cryptocephala* и *N. rhyncocephala*, *N. viridula*. Увеличение разнообразия видов из родов *Nitzschia* и *Navicula* в точках с повышенными концентрациями цинка по сравнению с природными водами также указывает на загрязнение.

Накопление различных химических элементов (Mn, Ba, Co, As) в донных осадках происходит в заводях, на плесах и в меандрах, при этом в основном русле, особенно на порогах, несмотря на наличие свалок на берегу, заметных изменений в составе диатомовых комплексов не наблюдается.

Литература

Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PilliesStudio, 2006. 498 с.

Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е. и др. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.

Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. М., 2006. 15 с.

ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения / Стандартиформ. М., 2008. 4 с.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л.: Наука, 1985. 243 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Шелехова Татьяна Станиславовна

старший научный сотрудник, к. г. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: shelekh@krc.karelia.ru
тел.: (8142) 782753, 89114324205

Крутских Наталья Владимировна

старший научный сотрудник, к. г. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: sonne77@yandex.ru
тел.: (8142) 782753, 89062090608

Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. М., 1951. 619 с.

Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Л., 1949. Кн. 2. 288 с.; 1950. Кн. 3. 399 с.

Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 49.

Комулайнен С. Ф., Чекрыжева Т. А., Вислянская И. Г. Альгофлора озер и рек Карелии. Таксономический состав и экология. Петрозаводск, КНЦ РАН, 2006. 81 с.

Лосева Э. И. Атлас пресноводных плейстоценовых диатомей европейского северо-востока. СПб.: Наука, 2000. 211 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 2. Карелия и Северо-Запад. Часть 1 / Под ред. В. Е. Водогрецкого. Л.: Гидрометеиздат, 1972 г. 528 с.

Рыбаков Д. С., Крутских Н. В., Лазарева О. В., Слуковский З. И., Кричевцова М. В. Оценка состояния природно-техногенных геосистем в пределах города Петрозаводска и прилегающих территорий // Геология Карелии от архея до наших дней: материалы докладов Всероссийской конференции. Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2011. С. 213–218.

Экологические функции литосферы / Под ред. В. Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 432 с.

Янин Е. П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГРЭ, 2004. 94 с.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2/1 / Veb Gustav Fischer Verlag, Jena, 1986. 876 p.

Molder, K., Tynni, R. Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen. I–VII // Bull. Geol. Soc. Finland, 1967–73: d39: 199–217 (1967); 40: 151–170 (1968); 41: 235–251 (1969); 42: 129–144 (1970); 43: 203–220 (1971); 44: 141–149 (1972); 45: 159–179 (1973).

Tynni R., 1975–1980. Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen VIII–XI. Geol. Surv. Finland Bull. 274: 1–55 (1975); 284: 1–37 (1976); 296: 1–55 (1978); 312: 1–93 (1980).

Shelekhova, Tatyana

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: shelekh@krc.karelia.ru
tel.: (8142) 782753, 89114324205

Krutskikh, Natalya

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: sonne77@yandex.ru
tel.: (8142) 782753, 89062090608