

УДК 556.5

КОМПОНЕНТЫ РЕЧНОГО СТОКА И ИХ ДИНАМИКА В РАЗНОТИПНЫХ ПРИТОКАХ ВЕРХНЕЙ ОБИ

А.В. Котовщиков, Д.П. Подчуфарова, А.В. Дьяченко

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: kotovschik@iwep.ru, di.prant29@mail.ru, dychenko@iwep.ru

По результатам ежемесячных полевых наблюдений и отбора проб получены данные круглогодичных наблюдений за содержанием взвешенных и растворенных веществ, общей минерализацией, концентрацией биогенных элементов (N, P, C, Si) и хлорофилла а фитопланктона, а также расходами воды в устьевых створах притоков Верхней Оби: Ануй, Чарыш, Алей, Талая, Барнаулка, Лосиха, Чумыш. Выявлены характер сезонной динамики суточного стока каждого компонента и ее особенности в разных реках. Проведен сравнительный анализ годовых объемов стока воды, взвешенных веществ, химических и биотических компонентов. Установлены связи годовых значений стока компонентов друг с другом и с физико-географическими характеристиками рек.

Ключевые слова: водный сток; твердый сток; ионный сток; биогенные элементы; хлорофилл; качество воды; трофический статус.

DOI: 10.24412/2410-1192-2022-16604

Дата поступления: 29.08.2022

Суммарный речной сток – это глобальный биогеохимический процесс, который играет ведущую роль в формировании состава, структуры и биологической продуктивности водных экосистем [Муравейский, 1960]. Речной сток складывается из стока воды, взвешенных наносов, химических веществ, живых организмов и тепла.

На протяжении первых сотен километров верхнего течения Оби, происходит формирование экосистемы реки как

равнинной за счет изменения морфометрии речной долины. Принимая в истоке воды горных рек, далее происходит преобразование состава и количества химических и биотических компонентов. Таким преобразованиям способствует увеличение водности, уменьшение уклона, расширение поймы и увеличение количества придаточных водоемов. На этом участке впадают практически все основные притоки Верхней Оби: Песчаная, Ануй, Чарыш, Большая Речка, Алей,

Барнаулка, Лосиха, Касмала, Чумыш. Среднегодовой расход воды в створе выше Новосибирского водохранилища увеличивается на 33% по сравнению с истоком реки (ниже слияния рек Бия и Катунь) [Ресурсы ..., 2019]. Согласно ранее проведенным исследованиям в бассейне Верхней Оби, была дана оценка влияния водосборной площади притоков на формирование спектра загрязняющих веществ (микроэлементы, фенолы нефтепродукты) [Темерев, 2006]. Характеристика сезонного содержания и стока основных биогенных элементов, органического углерода, фитопланктона в разнотипных притоках Верхней Оби ранее не проводилась. Знание величин стока химических и биотических компонентов в различных притоках позволяет выявить вклад их вод в суммарный сток компонентов главной реки Оби. Изучение разнотипных малых притоков, наряду с крупными и средними позволяет более детально изучить неоднородность вклада небольших водосборных бассейнов.

Цель работы – изучить сезонную динамику основных компонентов речного стока в разнотипных притоках Верхней Оби и провести сравнительный анализ годовых величин химического и биотического стока.

Материал и методы

Отбор проб на содержание химических и биотических компонентов проводили в 2020 г. ежемесячно (март–декабрь) в устьевых створах разнотипных притоков Оби: рр. Ануй, Чарыш, Алей, Барнаулка, Лосиха, Чумыш, а также в пойменном водотоке – р. Талая. Изученные реки значительно отличаются по физико-географическим характеристикам (табл. 1). Левые притоки – рр. Чарыш и Ануй имеют наибольшую из изученных рек долю горных территорий на водосборе. Левый приток – р. Алей и правый приток – р. Чумыш берут начало в низкогорьях и большую часть своего пути протекают по равнине. Правый приток – р. Лосиха протекает по всхолмленной равнине Бийско-Чумышской возвышенности. Левый приток – р. Барнаулка протекает по равнине Приобского плато, по дну ложбины древнего стока.

Для измерения расходов воды был использован аппаратно-программный комплекс Sontek RiverSurveyor Live, который включает в себя акустический доплеровский измеритель скорости течения Sontek ADP M9, а также программное обеспечение. Использованы также открытые данные Росгидромет о ежедневных расходах воды на гидропостах [Гидрографы гидропостов, 2021].

Таблица 1

Физико-географические характеристики изученных притоков

Table 1

Physical and geographical characteristics of the studied tributaries

Река	Расстояние от устья реки до истока Оби, км	Высота истока, м. над ур. м.	Длина, км	Площадь водосбора, км ²	Общее падение реки, м	Средний уклон, ‰
Ануй	18	1430	327	6930	1163	3.6
Чарыш	85	1800	547	22200	1657	3.0
Алей	162	810	858	21100	675	0.3
Талая	232	134	17	544	4	0.2
Барнаулка	234	219	207	4560	88	0.4
Лосиха	237	249	150	1520	107	0.7
Чумыш	303	510	644	23900	167	0.3

Проанализированы следующие компоненты речного стока: водный сток; сток взвешенных наносов; ионный сток; сток минеральных форм азота, общего фосфора; органического углерода (общего и растворенного); кремния; хлорофилла *a* фитопланктона.

Общую минерализацию измеряли многопараметрическим зондом YSI 6600V2, которая рассчитывалась из удельной электропроводности. Тип сенсора – ячейка с четырьмя электродами из чистого никеля. Содержание взвешенных веществ анализировали гравиметрическим методом, основанным на фильтровании пробы воды через фильтр с диаметром пор 0.45 мкм и взвешивании полученного осадка после высушивания его до постоянной массы [РД 52.24.468-2005]. Определение минеральных форм азотсодержащих соединений (аммония, нитритов, нитратов) проводили с помощью разделения многокомпонентной смеси ионов методом ионной

хроматографии. Детектирование определяемого катиона/аниона осуществляется кондуктометрическим детектором с последующим количественным расчетом хроматограмм и вычислением массовой концентрации ионов в воде [М 002-2016; ПНД Ф 14.1:2:4.132-98]. Определение концентрации общего фосфора осуществляли с помощью перевода всех фосфорсодержащих соединений в ортофосфаты путем окисления персульфатом калия в кислой среде при нагревании. Ортофосфаты затем определяли фотометрическим методом по реакции образования молибдофосфорной гетерополи-кислоты, которая восстанавливается аскорбиновой кислотой до интенсивно окрашенной молибденовой сини [РД 52.24.387-2006]. Содержание органического углерода рассчитывали по химическому потреблению кислорода (ХПК), используя коэффициент 0.375 [Скопинцев, Гончарова, 1967]. Для определения ХПК пробу воды обрабатывали серной

кислотой и бихроматом калия при заданной температуре в присутствии сернокислого сульфата серебра с последующим измерением оптической плотности раствора [ГОСТ 31859-2012]. Определение концентрации кремния проводили фотометрическим методом, основанным на взаимодействии мономерно-димерной формы кремниевой кислоты и силикатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибдосиликатной гетерополикислоты желтого цвета [РД 52.24.433-2005].

Для расчета стока всех компонентов, восстанавливали значения их концентраций за каждые сутки между днями отбора проб методом линейной интерполяции. Расчет стока компонентов производили по формуле:

$$R_c = Q \cdot C_c \cdot \alpha \cdot 10^{-9},$$

где R_c – суточный сток компонента c (т/сут.), Q – расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$), C_c – содержание компонента в воде ($\text{мг}/\text{м}^3$), α – коэффициент пересчета секундных значений в суточные, равный 86400. Годовой сток компонентов рассчитывали суммированием суточных значений.

Результаты и обсуждение

Для удобства анализа характеристик стока, исследованные реки разделены нами на три группы по величине водного стока: 1 – малые реки (Талая, Барнаулка,

Лосиха); 2 – средние реки (Ануй, Алей); 3 – большие реки (Чарыш, Чумыш).

Внутригодовая динамика водного стока исследованных рек характеризовалась максимумами в период весеннего половодья в апреле–мае (рис. 1). В р. Талой этот максимум отсутствовал, так как в этот период происходит заполнение поймы и в реке наблюдается обратное течение.

Динамика стока взвешенных наносов (твердого стока) в целом повторяет динамику водного стока (рис. 2), но максимумы в разных реках могут значительно отличаться из-за разницы в содержании взвешенных веществ. Увеличение содержания последних, при отсутствии увеличения водного стока, может давать дополнительный максимум твердого стока в наиболее подверженной антропогенному загрязнению – р. Барнаулке.

Динамика ионного стока полностью соответствовала динамике стока воды (рис. 3, 7), что связано со стабильным содержанием растворенных солей в течение года в той или иной реке.

Пики стока минерального азота во всех реках отмечали также в период весеннего половодья в апреле–мае (рис. 4). Среди малых рек наибольший сезонный максимум отмечен в р. Барнаулке, имеющей наибольшее антропогенное загрязнение.

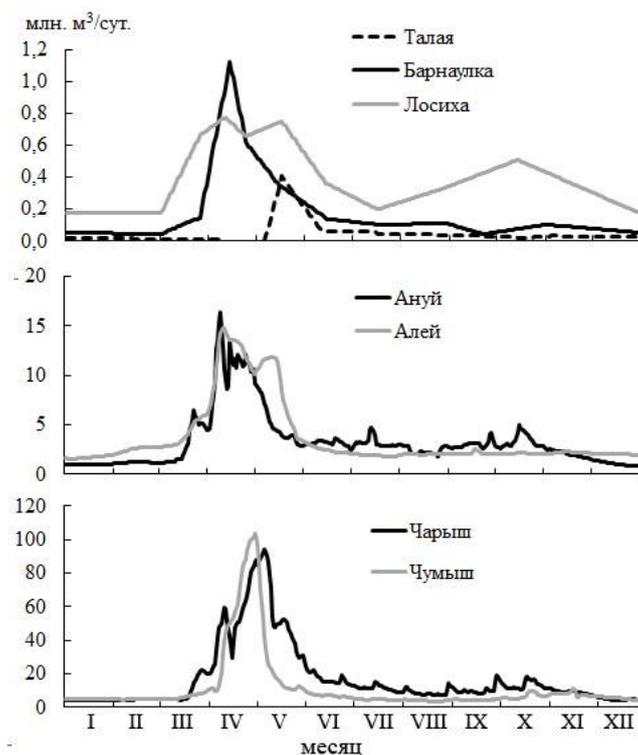


Рис. 1. Сезонная динамика водного стока притоков Верхней Оби в 2020 г.
Fig. 1. Seasonal dynamics of the water runoff of the tributaries of the Upper Ob in 2020

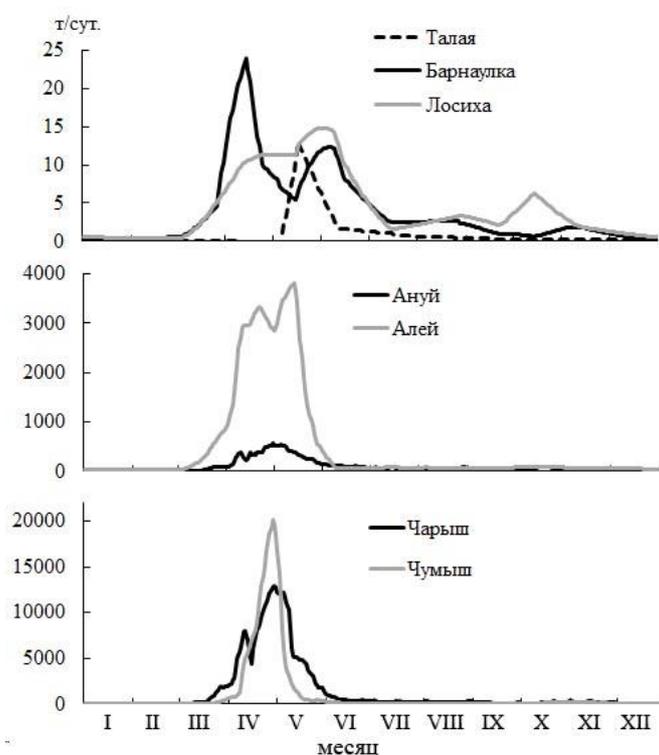


Рис. 2. Сезонная динамика твердого стока притоков Верхней Оби в 2020 г.
Fig. 2. Seasonal dynamics of suspended matter runoff in the tributaries of the Upper Ob in 2020

Среди средних по водности рек, значительно более высокий максимум стока азота наблюдали в р. Алей. Похожую картину наблюдали по динамике стока фосфора (рис. 5).

Годовые максимумы стока органического углерода во всех реках также были приурочены к периоду весеннего половодья (рис. 6). Наибольшие значения годовых максимумов отмечали в реках, имеющих более равнинный характер водосбора и повышенную антропогенную нагрузку (Барнаулка, Алей, Чумыш).

Сезонная динамика стока основного фотосинтетического пигмента –

хлорофилла *a* (Хл *a*), как показателя биомассы фитопланктона, отличалась от динамики химического стока (рис. 8). Максимумы стока Хл *a* в большинстве рек определялись концентрацией пигмента, а не величиной водного стока. В малых реках наибольший фитосток наблюдали в конце мая–начале июня. В реках с преобладанием равнинных водосборов (Алей, Чумыш) выраженные максимумы наблюдали в весенний период (апрель–май). В реках с преобладанием горных ландшафтов на водосборе (Ануй, Чарыш) максимальный фитосток наблюдали в летний период (июнь–август).

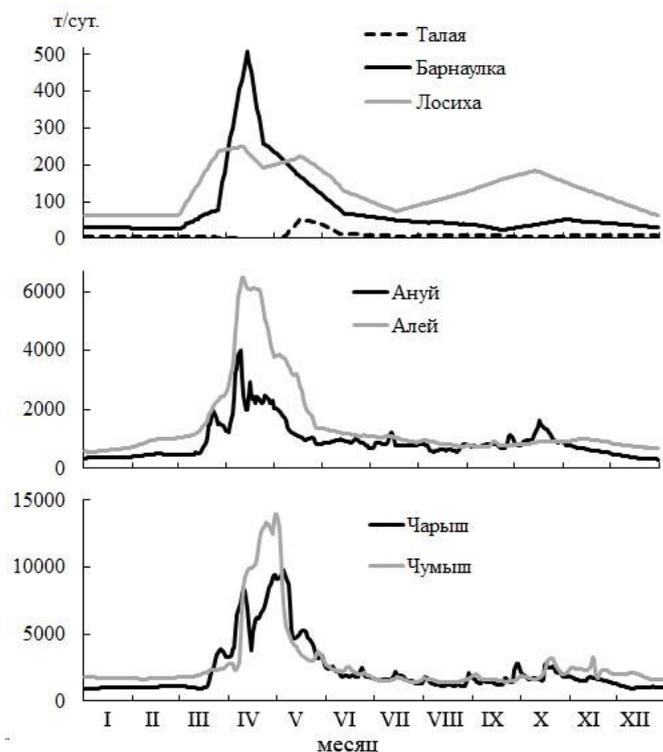


Рис. 3. Сезонная динамика ионного стока притоков Верхней Оби в 2020 г.
Fig. 3. Seasonal dynamics of the ion runoff of the tributaries of the Upper Ob in 2020

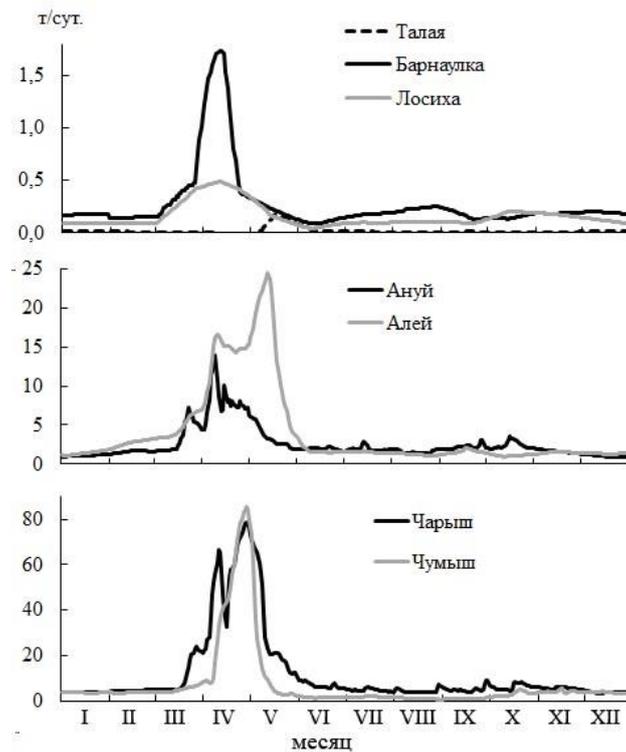


Рис. 4. Сезонная динамика стока суммарного минерального азота в притоках Верхней Оби в 2020 г.
Fig. 4. Seasonal dynamics of the runoff of total mineral nitrogen in the tributaries of the Upper Ob in 2020

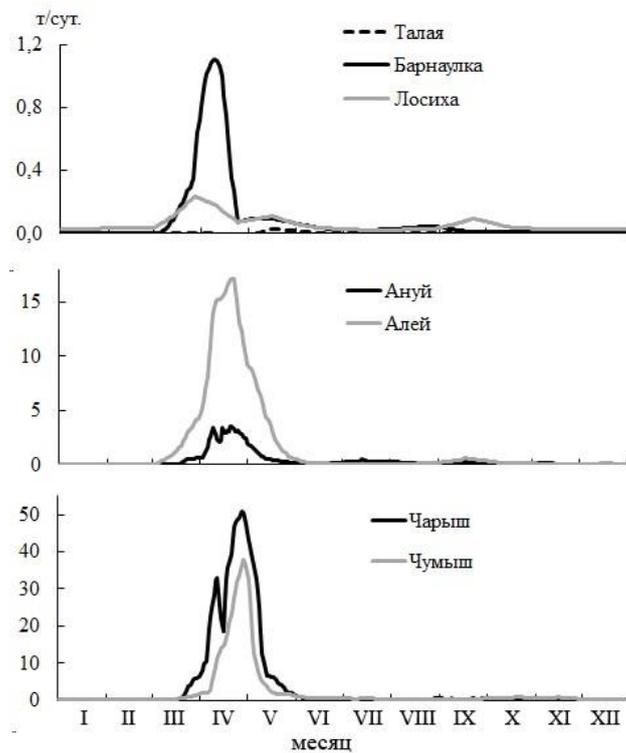


Рис. 5. Сезонная динамика стока общего фосфора в притоках Верхней Оби в 2020 г.
Fig. 5. Seasonal dynamics of total phosphorus runoff in tributaries of the Upper Ob in 2020

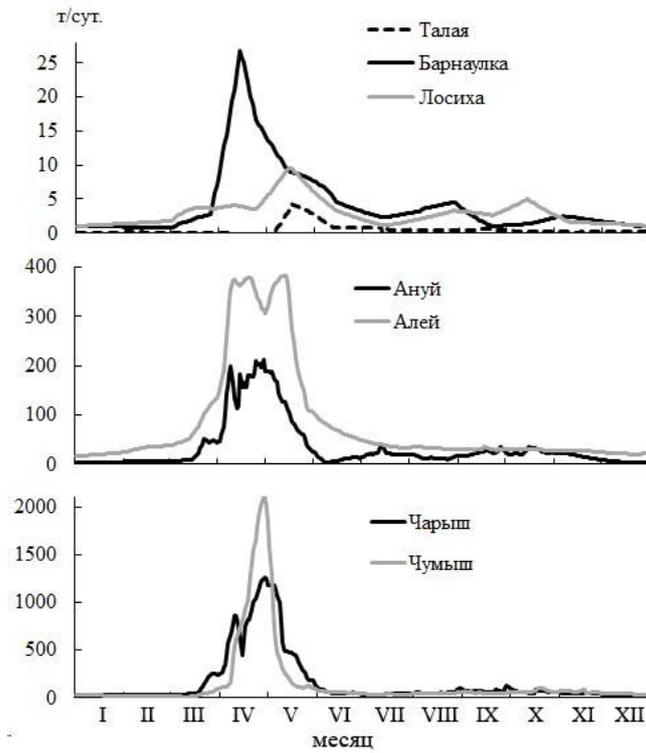


Рис. 6. Сезонная динамика стока общего органического углерода в притоках Верхней Оби в 2020 г.
 Fig. 6. Seasonal dynamics of total organic carbon runoff in the tributaries of the Upper Ob in 2020

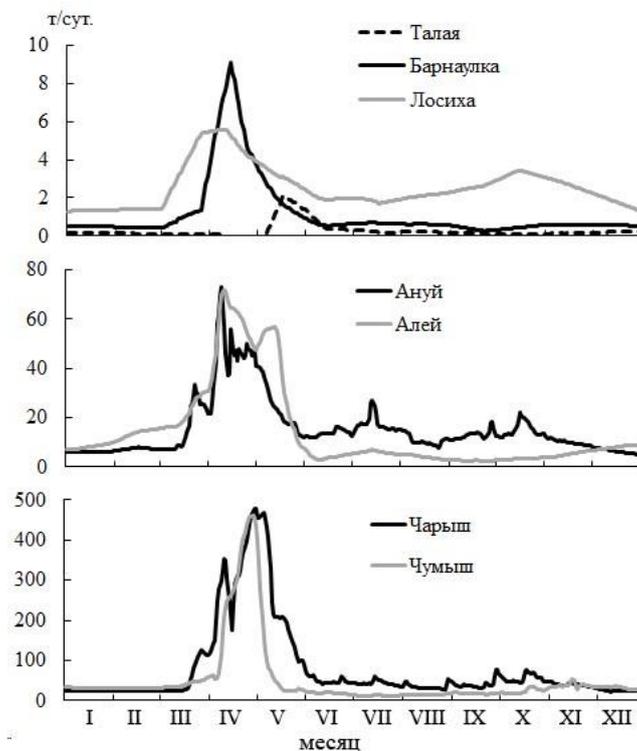


Рис. 7. Сезонная динамика стока кремния в притоках Верхней Оби в 2020 г.
 Fig. 7. Seasonal dynamics of silicon runoff in the tributaries of the Upper Ob in 2020

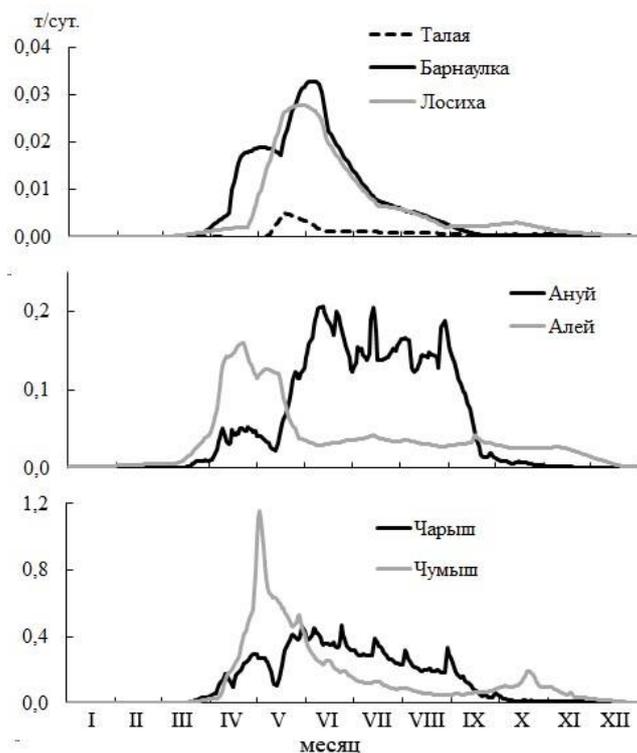


Рис. 8. Сезонная динамика стока хлорофилла *a* в притоках Верхней Оби в 2020 г.
 Fig. 8. Seasonal dynamics of chlorophyll *a* runoff in the tributaries of the Upper Ob in 2020

Годовые объемы компонентов речного стока и их среднегодовые концентрации представлены в таблице 2. Наибольший водный сток из всех обследованных рек имеют рр. Чарыш и Чумыш (6.12 и 4.12 км³, соответственно); наименьший – рр. Талая, Барнаулка и Лосиха (0.02, 0.06 и 0.14 км³, соответственно). Реки Ануй и Алей имеют промежуточные значения водного стока (1.19 и 1.32 км³).

Наибольшее количество взвешенных веществ выносит р. Чарыш (477 тыс. т). Однако, их максимальную среднегодовую концентрацию имеет р. Алей (68 г/м³). Максимальное количество растворенных веществ выносит р. Чумыш (998 тыс. т), несмотря на значительно

меньший, чем в р. Чарыш, объем водного стока. Это связано с двукратной разницей в среднегодовом содержании суммы ионов этих рек. Наибольшее среднегодовое содержание солей имеют воды рек Алей (0.409 г/дм³) и Барнаулка (0.495 г/дм³). Наибольший сток минерального азота и общего фосфора вносит также р. Чарыш (4328 и 1489 т/год, соответственно). Однако, среднегодовые концентрации этих элементов были не высоки (0.69 и 0.09 г/м³, соответственно). Максимальное содержание этих элементов характерно для р. Барнаулки (2.17 и 0.32 г/м³, соответственно).

Наибольший вынос общего органического углерода отмечен в р. Чарыш (57 тыс. т), незначительно превосходя

р. Чумыш (54 тыс. т). Вместе с тем, р. Чумыш дает основную долю растворенной фракции Сорг. и выносит значительно больше легкоокисляемых органических веществ, чем р. Чарыш, что указывает на разный характер загрязнения вод. Наибольшие среднегодовые концентрации общего Сорг. имеют рр. Барнаулка и Алей (24 и 18 г/м³, соответственно), причем его сток из р. Алей весьма значителен (30 тыс. т).

Годовой сток кремния был максимален также в р. Чарыш (29 тыс. т), уменьшаясь в остальных притоках синхронно уменьшению водного стока. Это

обусловлено близкими среднегодовыми концентрациями кремния в исследованных реках.

Максимальный сток фитопланктона (по количеству хлорофилла *a*) отмечается в р. Чумыш (48.3 т/год) и р. Чарыш (45.7 т/год). Значительный вклад в фитосток вносит также р. Ануй (20.3 т/год), что обусловлено высокой среднегодовой концентрацией хлорофилла *a* (18.1 мг/м³). Максимальное среднегодовое содержание хлорофилла *a* имеют воды р. Барнаулки (31.9 мг/м³), при этом фитосток составляет 2.2 т/год.

Таблица 2

Компоненты речного стока притоков Верхней Оби в 2020 г.

Table 2

Components of the river runoff of the tributaries of the Upper Ob in 2020

Показатель		Ануй	Чарыш	Алей	Талая	Барнаулка	Лосиха	Чумыш
Вода	годовой сток, км ³	1.19	6.12	1.32	0.02	0.06	0.14	4.12
	средний расход, м ³ /с	37.6	194	41.9	0.57	1.96	4.44	130
Взвешенные вещества	тыс. т*	33.96	476.8	180.9	0.35	1.45	1.6	372.1
	г/м ³ **	21.3	34.7	68.4	11.7	21.2	9.59	26.4
Сумма ионов	тыс. т	327.7	832.7	531.3	3.1	29.3	48.3	998.4
	г/м ³	0.31	0.17	0.41	0.24	0.50	0.35	0.32
Азот минеральный	т	923	4328	1443	6.5	99.9	58.2	2672
	г/м ³	0.85	0.69	0.88	0.47	2.17	0.42	0.53
Фосфор общий	т	139	1489	604	1.5	33.1	21	847
	г/м ³	0.07	0.09	0.20	0.13	0.32	0.14	0.10
Углерод органический общий	т	12476	57109	29504	189	1565	1079	54283
	г/м ³	7.81	6.83	18.1	10.3	24.4	7.57	8.94
Углерод органический растворенный	т	4372	26315	14541	146	1055	618	38132
	г/м ³	4.12	3.57	10.50	7.15	16.10	3.95	5.71
Кремний	т	5646	28599	5158	96.3	426	938	18336
	г/м ³	5.08	4.55	3.34	6.58	6.93	6.99	4.50
Хлорофилл	т	20.3	45.7	13	0.26	2.2	1.9	48.3
	мг/м ³	18.1	8.21	9.79	13.6	31.9	12.9	13.0

* – годовой сток; ** – среднегодовая концентрация.

Для сравнительного анализа характеристик речного стока в разнотипных притоках, были рассчитаны удельные значения годового стока компонентов, отнесенные на единицу площади водосбора. Эти показатели определяются ландшафтными особенностями водосборных бассейнов рек и характеризуют вклад последних в формирование состава речных вод. На диаграммах представлены относительные доли удельного стока компонентов в сумме удельных стоков изученных рек (рис. 9). Наибольшие величины удельного водного и твердого стока наблюдаются в р. Чарыш (276 тыс. м³/км²·год и 22 т/км²·год), наименьшие – в р. Барнаулке (13 тыс. м³/км²·год и 000.3 т/км²·год, соответственно). Ионный сток максимален в р. Ануй (0.047 тыс. т/км²·год), что связано с повышенной минерализацией воды. Наибольший удельный сток биогенных элементов (азот, фосфор, углерод, кремний) также отмечается в наибольшей по модулю водного стока р. Чарыш.

Удельный сток зеленого пигмента водорослей был максимален в р. Ануй (0.0029 т/км²·год) из-за высоких летних концентраций. Близкими значениями характеризовались крупные реки Чарыш и Чумыш (0.0021 и 0.0020 т/км²·год). Наименьший удельный фитосток отмечен в реках Барнаулка и Талая

(0.0005 т/км²·год). Причем среднегодовая концентрация Хл *a* в р. Барнаулке была максимальной. Это обусловлено самым низкими из исследованных рек модулем водного стока в этой реке.

Среди полученных удельных значений стока компонентов наибольшей вариабельностью в разных реках характеризуется твердый сток (C_v=110%), наименьшей – ионный сток (C_v=59%). Высокая вариабельность всех показателей связана со значительными различиями ландшафтных условий водосборов характера питания изученных рек. Удельный сток взвешенных веществ максимален в наиболее многоводной реке с преобладанием горных ландшафтов на водосборе (р. Чарыш), минимален – в равнинной р. Барнаулке. Значения удельного ионного стока пяти исследованных рек имеют небольшие отличия между собой, несмотря на значительные отличия водного стока. Это связано с большим содержанием солей в реках с меньшей водностью (рр. Ануй, Алей, Лосиха).

Корреляционный анализ среднегодовых значений содержания компонентов речного стока изученных семи рек между собой показал, что значения общей минерализации положительно связаны с содержанием фосфора и углерода (Cr=0.83).

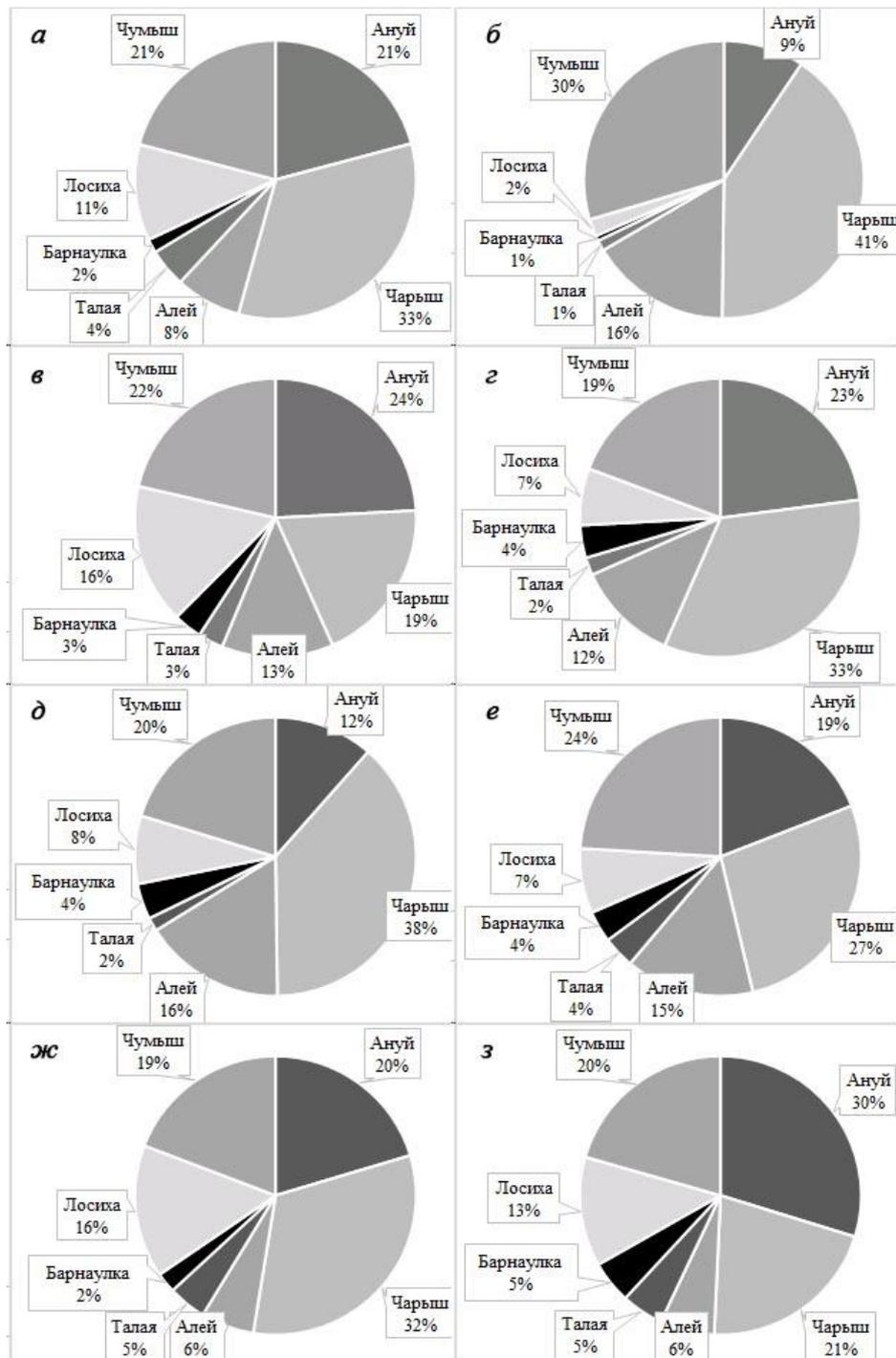


Рис. 9. Соотношение удельных значений стока различных компонентов в притоках Верхней Оби: а – водный сток; б – твердый сток; в – ионный сток; г – сток минерального азота; д – сток общего фосфора; е – сток органического углерода; ж – сток кремния; з – сток хлорофилла а

Fig. 9. The ratio of the specific values of the runoff of various components in the tributaries of the Upper Ob: a – water runoff; b – solid runoff; c – ion runoff; d – runoff of mineral nitrogen; e – runoff of total phosphorus; f – runoff of organic carbon; g – silicon runoff; h – chlorophyll a runoff

В свою очередь углерод положительно связан с азотом и фосфором ($C_r=0.86$ и 0.96 , соответственно), а последние – друг с другом ($C_r=0.84$). Содержание Хл *a* также положительно связано с концентрацией минерального азота ($C_r=0.88$), а кремний – отрицательно связан с количеством взвешенных веществ ($C_r=-0.85$).

Анализ связей среднегодовых концентраций компонентов с физико-географическими характеристиками исследованных рек обнаружил, что такую связь проявляет только содержание кремния по отношению к длине реки ($C_r=-0.94$) и площади водосбора ($C_r=0.87$).

В соответствии с комплексной экологической классификацией по эколого-санитарным показателям [Оксинок и др. ... , 1993] проведена оценка качества воды исследованных рек по среднегодовым значениям следующих показателей: содержание взвешенных веществ, сумма минеральных форм азота, общий

фосфор, органический углерод и хлорофилл *a*. Кроме того определен трофический статус речных экосистем в соответствии с международной классификацией [Environment ... 2004]. Результаты экологической оценки приведены в таблице 3. Выявлено, что к «умеренно загрязненным» относятся только воды р. Барнаулки, к «слабо загрязненным» – р. Алей, к «достаточно чистым» – рр. Ануй, Чарыш, Талая и Чумыш, к «вполне чистым» - р. Лосиха. Наибольший трофический статус (гиперэвтрофный) определен также только для р. Барнаулки. Река Алей является эвтрофной, Ануй – слабо эвтрофной. Остальные реки имеют мезотрофный статус.

Необходимо отметить, что согласно предыдущим исследованиям 1997–1998 гг., трофический статус р. Барнаулки был охарактеризован как эвтрофный [Жихарева, Кириллова, 2000]. Это может свидетельствовать о тенденции ухудшения экологического состояния реки за этот период.

Таблица 3

Оценка экологического состояния притоков Верхней Оби в 2020 г.

Table 3

Assessment of the ecological state of the tributaries of the Upper Ob in 2020

Река	Категории экологического состояния	
	Разряд качества воды	Трофический статус экосистемы
Ануй	3а – достаточно чистая	слабо эвтрофный
Чарыш	3а – достаточно чистая	мезотрофный
Алей	3б – слабо загрязненная	эвтрофный
Талая	3а – достаточно чистая	мезотрофный
Барнаулка	4а – умеренно загрязненная	гиперэвтрофный
Лосиха	2б – вполне чистая	мезотрофный
Чумыш	3а – достаточно чистая	мезотрофный

Заключение

По результатам ежемесячного мониторинга семи разнотипных притоков Верхней Оби, выявлена сезонная динамика основных компонентов речного стока и их годовые объемы. Внутригодовая динамика стока воды во всех реках, кроме пойменной р. Талая, имела максимум в период весеннего половодья (апрель–май). Твердый сток повторял динамику стока воды; величины максимумов определялись различием в содержании взвешенных веществ в разных реках. Динамика ионного стока полностью соответствовала водному, что объясняется внутригодовой стабильностью минерализации воды в той или иной реке. Максимумы стока биогенных элементов (N, P, C, Si) во всех реках отмечали в период половодья (апрель–май). Максимумы стока Хл а в большинстве рек определялись содержанием пимента в воде, а не величинами стока воды. В малых реках (Талая, Барнаулка, Лосиха) пики отмечали в конце мая–начале июня, в реках с преобладанием равнинных водосборов (Алей, Чумыш) – в апреле–мае, в реках с горными водосборами (Ануй, Чарыш) – в июне–августе.

Наибольшее за год количество воды, взвешенных веществ, минерального азота, общего фосфора, органического углерода, кремния и Хл а выносит р. Чарыш. Максимальное количество солей,

растворенной фракции органического углерода и Хл а выносит р. Чумыш. Наибольшую среднегодовую концентрацию взвешенных веществ, а также высокие общую минерализацию и содержание органического углерода имеет р. Алей. Максимальную среднегодовую минерализацию, содержание минерального азота, общего фосфора, органического углерода и Хл а имеет р. Барнаулка. Наибольшее среднегодовое содержание кремния наблюдается в малых реках – Талая, Барнаулка, Лосиха.

Корреляционный анализ показал тесную положительную связь различий среднегодового содержания суммы ионов в изученных реках с содержанием фосфора и углерода, а также такую же связь углерода с азотом и фосфором. Содержание Хл а в реках также имеет тесную положительную связь с концентрацией минерального азота.

Оценка качества воды рек и их трофического состояния показала, что умеренно загрязненными оказались воды р. Барнаулки, которая характеризуется как гиперэвтрофная. Слабо загрязненными являются воды р. Алей с эвтрофным статусом. Воды большей части рек (Ануй, Чарыш, Талая, Чумыш) оценены как достаточно чистые, а р. Лосиха – как вполне чистая. Трофический статус р. Ануй определен как мезо-эвтрофной, у остальных рек – мезотрофный.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00528.

Список литературы

Гидрографы гидропостов / Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России Центра регистра и кадастра [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/> (дата обращения 22.11.2021).

ГОСТ 31859-2012. Вода. Метод определения химического потребления кислорода. М.: Стандартинформ, 2014. 11 с.

Жихарева О.Н., Кириллова Т.В. Пигментные и продукционные характеристики фитопланктона // Река Барнаулка: экология, флора и фауна бассейна. Барнаул, 2000. С. 209–222.

М 002-2016. Методика измерений массовых концентраций ионов лития, натрия, аммония, калия, магния, кальция, стронция и бария в воде методом ионной хроматографии. М: ООО «Спектроника», 2016. 27 с.

Муравейский С.Д. Реки и озера: гидробиология, сток. М.: Гос. изд-во геогр. литературы, 1960. 388 с.

Оксинок О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник, М. И. Кузьменко, Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. № 29 (4). С. 62–76.

ПНД Ф 14.1:2:4.132-98. Методика выполнения измерений массовых концентраций анионов: нитрита, нитрата, хлорида, фторида, сульфата и фосфата в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии. М: ЗАО «АналитИнвест», 2008. 20 с.

РД 52.24.387-2006. Массовая концентрация фосфора общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия. Ростов-на-Дону.: ГУ Гидрохимический институт, 2006. 31 с.

РД 52.24.433-2005. Массовая концентрация кремния в поверхностных водах суши. Методика выполнения измерений фотометрическим методом в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты. Ростов-на Дону: ГУ «Гидрохимический институт», 2005. 28 с.

РД 52.24.468-2005. Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений массовой концентрации гравиметрическим методом. Ростов-на-Дону: ГУ «Гидрохимический институт», 2005. 17 с.

Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. 2018 год. СПб., 2019. 153 с.

Скопинцев Б.А., Гончарова И.А. Успехи современной гидрохимии в области изучения органического вещества природных вод // Гидрохим. материалы. 1967. Т. 65. С. 133–154.

Темерев С.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна Оби: монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2006. 336 с.

Environment Canada: national guidelines and standards office. Water policy and coordination directorate. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater system. Ottawa: National Guidelines and Standards Office Water Policy and Coordination Directorate Environment Canada, 2004. Report № 1–8. 133 p.

References

Gidrografy gidropostov [Hydrographs of gauging stations] / Informatsionnaya sistema po vodnym resursam i vodnomu khozyaystvu basseynov rek Rossii Tsentra registra i kadastra [Information system on water resources and water management of the Russian river basins of the Center of the register and cadastre]. URL: <http://gis.vodinfo.ru/hydrographs/> (accessed 08.11.2022).

GOST 31859-2012. Voda. Metod opredeleniya himicheskogo potrebleniya kisloroda [Water. Method for determining chemical oxygen demand]. M.: Standartinform, 2014. 11 p.

Zhihareva O.N., Kirillova T.V. Pigmentnye i produkcionnye karakteristiki fitoplanktona [Pigment and production characteristics of phytoplankton] // Reka Barnaulka: ekologiya, flora i fauna bassejna [Barnaul River: ecology, flora and fauna of the basin]. Barnaul, 2000. P. 209–222.

M 002-2016. Metodika izmerenij massovyh koncentracij ionov litiya, natriya, ammoniya, kaliya, magniya, kal'ciya, stronciya i bariya v vode metodom ionnoj hromatografii [Method for measuring mass concentrations of lithium, sodium, ammonium, potassium, magnesium, calcium, strontium and barium ions in water by ion chromatography]. M: ООО «Спектроника», 2016. 27 p.

Muravejskij S.D. Reki i ozera: gidrobiologiya, stok [Rivers and lakes: hydrobiology, runoff]. M.: Gos. izd-vo geogr. literatury, 1960. 388 p.

Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N., Braginskij L.P., Linnik, M. I. Kuz'menko, Klenus V. G. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikaciya kachestva poverhnostnyh vod sushi [Integrated ecological classification of surface water quality] // Gidrobiol. zhurn [Hydrobiological Journal]. 1993. № 29 (4). P. 62–76.

PND F 14.1:2:4.132-98. Metodika vypolneniya izmerenij massovyh koncentracij anionov: nitrata, nitrata, hlorida, ftorida, sul'fata i fosfata v probah prirodnoj, pit'evoj i stochnoj vody metodom ionnoj hromatografii [Method for measuring the mass concentrations of anions: nitrite, nitrate,

chloride, fluoride, sulfate and phosphate in samples of natural, drinking and waste water by ion chromatography]. M: ZAO «AnalitInvest», 2008. 20 p.

RD 52.24.387-2006. Massovaya koncentraciya fosfora obshchego v vodah. Metodika vypolneniya izmerenij fotometricheskim metodom posle okisleniya persul'fatom kaliya [Mass concentration of total phosphorus in waters. Method for performing measurements by the photometric method after oxidation with potassium persulfate]. Rostov-na-Donu.: GU «Gidrohimicheskij institut», 2006. 31 p.

RD 52.24.433-2005. Massovaya koncentraciya kremniya v poverhnostnyh vodah sushi. Metodika vypolneniya izmerenij fotometricheskim metodom v vide zheltoj formy molibdokremnievoj kisloty [Mass concentration of silicon in the surface waters of land. Method for performing measurements by the photometric method in the form of a yellow form of molybdosilicic acid]. Rostov-na Donu: GU «Gidrohimicheskij institut», 2005. 28 p.

RD 52.24.468-2005. Vzveshennye veshchestva i obshchee sodержanie primesej v vodah. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii gravimetricheskim metodom [Suspended solids and total content of impurities in waters. Methodology for performing measurements of mass concentration by the gravimetric method]. Rostov-na-Donu: GU «Gidrohimicheskij institut», 2005. 17 p.

Resursy poverhnostnyh i podzemnyh vod, ih ispol'zovanie i kachestvo. 2018 god [Resources of surface and ground waters, their use and quality. 2018]. SPb., 2019. 153 p.

Skopincev B.A., Goncharova I.A. Uspekhi sovremennoj gidrohimii v oblasti izucheniya organicheskogo veshchestva prirodnyh vod [Advances in Modern Hydrochemistry in the Study of Organic Matter in Natural Waters] // *Gidrohim. materialy*. 1967. Vol. 65. P. 133–154.

Temerev S.V. Mikroelementy v poverhnostnyh vodah bassejna Obi: monografiya [Trace elements in the surface waters of the Ob basin]. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2006. 336 p.

Environment Canada: national guidelines and standards office. Water policy and coordination directorate. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater system. Ottawa: National Guidelines and Standards Office Water Policy and Coordination Directorate Environment Canada, 2004. Report № 1–8. 133 p.

RIVER RUNOFF COMPONENTS AND THEIR DYNAMICS IN DIFFERENT-TYPE TRIBUTARIES OF THE UPPER OB

A.V. Kotovshchikov, D.P. Podchufarova A.V. Dyachenko

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: kotovschik@iwep.ru, di.prant29@mail.ru, dychenko@iwep.ru

The year-round observation data on suspended and dissolved substances, total mineralization, concentrations of biogenic elements (N, P, C, Si) and chlorophyll a of phytoplankton as well as water discharges in mouth sections of the Upper Ob tributaries (Anui, Charysh, Alei, Talaya, Barnaulka, Losikha, Chumysh) were obtained due to monthly field studies and sampling. Seasonal dynamics of daily runoff of each component and its features in different rivers were revealed. A comparative analysis of annual volumes of water runoff, suspended solids, chemical and biotic components was performed. The relationships between annual values of runoff components with each other and with physical-geographical characteristics of the rivers were established.

Key words: water runoff; solid runoff; ionic runoff; nutrients; chlorophyll; water quality; trophic status.

Received August 29, 2022

Сведения об авторах

Котовщикова Антон Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: kotovschik@iwep.ru.

Подчуфарова Дарья Павловна – инженер Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: di.prant29@mail.ru

Дьяченко Александр Владимирович - научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1, ИВЭП СО РАН. E-mail: dychenko@iwep.ru

Information about the authors

Kotovshchikov Anton Viktorovich – PhD in Biology, Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: kotovschik@iwep.ru.

Podchufarova Daria Pavlovna – Engineer of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: di.prant29@mail.ru

D'yachenko Aleksandr Vladimirovich – Researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: dychenko@iwep.ru.