

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМУ НОРМИРОВАНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ*

С.Р. Чалов^{1,2}, В.Н. Леман²

E-mail: srchalov@geogr.msu.ru

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия

² ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ: В статье рассмотрены современные подходы к нормированию допустимых содержаний взвешенных веществ (ВВ, мг/л) в реках с учетом рыбохозяйственных требований. Предложена система регионального нормирования, реализуемая на бассейновом уровне с учетом состава ихтиофауны и фоновых условий. По убыванию толерантности использовано ранжирование рыб по порогу чувствительности: от осетровых и сомовых (1000 мг/л) до карповых (250 мг/л), окуневых (100 мг/л) и лососевых (10 мг/л, выраженные изменения при 25–35 мг/л). Для трех крупных территорий Российской Федерации (бассейны рек Лены и Селенги и полуострова Камчатка) проведена апробация системы определения нормативов взвешенных веществ. Для рек Камчатки обосновано критическое значение содержания взвешенных веществ, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для лососевых рыб, в диапазоне концентрации (S) от 25 до 35 мг/л; действие норматива не распространяется на реки территорий современного вулканизма. Для бассейна р. Селенги рекомендован дифференцированный норматив: 25 мг/л для рек, являющихся местообитанием семейства лососевых (таймень, ленок) и хариусовых, и 50 мг/л для рек, где преобладают сиговые (омуль). Норматив для бассейна р. Лены – в диапазоне от 25 до 35 мг/л для всей речной сети за исключением участков нижнего течения, отличающихся более высокими значениями ВВ (50–100 мг/л).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормирование, рыбохозяйственные нормативы, взвешенные вещества, ихтиофауна, водная экосистема, р. Селенга, р. Лена, Камчатка.

Речные потоки переносят большое количество наносов – нерастворенных веществ размером от коллоидов (с крупностью более 0,001 мкм) до крупнообломочных частиц, являющихся продуктами разрушения горных пород, почв, разложения органики. Их перемещение – важнейший фактор среды, оказы-

* Обобщение данных по рекам бассейна Байкала выполнено в рамках гранта РФФИ 1729-05027, по рекам Арктики – гранта РФФИ 18-05-60219 Арктика © Чалов С.Р., Леман В.Н., 2019

вающий выраженное влияние на формирование фауны рек и в значительной мере проявляющийся в пространственной неоднородности сообществ [1–3]. Будучи основным фактором воздействия хозяйственной деятельности на речные системы (строительство, горнодобывающая деятельность и русловые карьеры, коммунально-бытовое хозяйство), взвешенные вещества определяют условия обитания и миграции ихтиофауны [1], нереста [4], темпы реколонизации донного субстрата [5, 6]. Эффекты воздействия наносов проявляются на всех уровнях организации водных экосистем: от клеточного и организменного – до популяционного и ценотического. Важнейшим экологическим параметром является содержание ВВ в толще воды, традиционно определяемое как масса ВВ на единицу объема (мг/л), или с использованием современных оптических средств как величина рассеивания света (Т, turbidity, НТУ) [7].

Учет ВВ важен для обоснования эффективной системы нормирования воздействия хозяйственной деятельности на речные системы. В России выявление допустимых уровней загрязнения осуществляется на основе сопоставления данных о количестве поступающих в водные объекты загрязняющих веществ с действующими предельно допустимыми концентрациями (ПДК) или рыбохозяйственными требованиями. Проблема этого подхода заключается в том, что для всей территории страны установлены ПДК, которые не учитывают особенности водотоков [8]: для всех типов вод и природных зон используются одни и те же значения ПДК. При этом содержание ВВ в реках меняется в широких пределах – от значений первого порядка до тысяч мг/л в водотоках активного развития экзогенных процессов (современная вулканическая деятельность, распространение лесов в степной зоне и др.). Для водных объектов рыбохозяйственного значения действующим законодательством установлена возможность разработки региональных нормативов ПДК [9].

Группы водных организмов по-разному приспособлены к влиянию взвешенных веществ. Экологические параметры, учитывающие состояние сообществ водных организмов, в настоящее время не отражены в системе российских ПДК [9] и, соответственно, нормировании взвешенных веществ. Данная ситуация отличается от многих зарубежных государственных систем. В этой связи целью настоящей работы является обоснование регионального подхода к рыбохозяйственному нормированию мутности воды. Для анализа были выбраны территории, отличающиеся по основным параметрам нормирования и охватывающие контрастные фаунистические комплексы: Камчатский край, бассейн Селенги и бассейн Лены.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОМУ НОРМИРОВАНИЮ МУТНОСТИ ВОДЫ

Анализ современных подходов к рыбохозяйственному нормированию следует начать с уточнения терминов, используемых в практике нормирова-

ния и приводимых в данной статье. Под объектами нормирования понимаются группы ихтиофауны, относительно которых устанавливается норматив. Пространственный масштаб определяет границы применимости по территориальному признаку. Важным понятием является продолжительность воздействия, т. е. период времени, при котором осуществляется повышение значений ВВ выше предельной величины. Наконец, под учитываемыми параметрами понимают характеристики речных наносов, наблюдаемые в нормируемых водных объектах, и пороговые (критические для выживаемости) значения ВВ для объектов нормирования.

Действующее в Российской Федерации нормирование поступления взвесей основано на рыбохозяйственных требованиях к качеству воды [10]: содержание взвешенных веществ не должно превышать природный фон более чем на 0,25 мг/л для рыбохозяйственных водотоков высшей и первой категории, а для водотоков, содержащих в межень природной взвеси более 30 мг/л, допускается увеличение в пределах 5 %. По сравнению с зарубежными подходами, российский стандарт отличает, в первую очередь, константность, которая снижает адекватность его применения [11] для огромной территории страны независимо от состава ихтиофауны и характеристик ВВ. Например, в реках с содержанием ВВ 1 мг/л допустимо увеличение до 1,25 мг/л, при 25 мг/л, величине, соответствующей критическим условиям для воспроизводства лососевых рыб [8], – до 25,25 мг/л. Кроме того, согласно российскому законодательству, запрещается сбрасывать в водотоки взвешенные вещества со скоростью осаждения более 0,0004 м/с, т. е. размером частиц ориентировочно более 0,03 мм [19]. Иными словами, сброс более тонких частиц разрешен, хотя именно в этой фракции содержатся наиболее опасные токсичные элементы [11]. В зарубежной водохозяйственной практике нормируются, как правило, тонкодисперсные фракции (т. н. «fine sediment», с диаметром от 450 мкм до 2000 мкм), соответствующей скорости осаждения 0,3 м/с. Учитываемыми параметрами являются величины содержания ВВ (мг/л) и оптической мутности Т (turbidity, НТУ), прозрачность воды по черному диску (м). Многие нормативы дифференцируются для фаз водного режима, например, в Европейском Союзе (DIRECTIVE 2006/44/EC) и Канаде [12]. Пространственный охват нормативов очень изменчив – они отличаются между природными и высотными зонами в Австралии и Новой Зеландии [13], являются уникальными для отдельных штатов США [14]. В Австралии и Новой Зеландии установлены отдельные нормативы для рек горных районов (более 150 м абсолютная высота русла) и рек низменностей (абсолютная высота менее 150 м), при этом в Австралии нормативы отличаются для разных регионов континента (юго-западная часть, юго-восточная часть, тропики). В США некоторые штаты в

качестве рекомендованного норматива используют абсолютную величину, другие – относительную (относительно фоновых условий). При этом не все штаты имеют регламентированные нормативы. Наиболее строгая и детализированная система нормирования принята в штате Гавайи (табл. 1), она базируется на ежедневном мониторинге мутности воды. Для маловодного сезона (с 1 мая по 31 октября) предполагается следующее:

– большинство измерений мутности должно находиться в интервале менее 10 мг/л (2 НТУ);

– не более 10 % показаний может находиться в интервале значений до 30 мг/л (5,5 НТУ);

– не более 2 % показаний может достигать 55 мг/л (10 НТУ).

Для многоводного сезона (1.11 – 30.04) критерии менее строгие:

– большинство показаний должны находиться в интервале менее до 5 НТУ;

– не более 10 % показаний может находиться в интервале значений до ≤ 15 НТУ;

– не более 2 % показаний может достигать ≤ 25 НТУ.

Определение величины нормирования, как правило, проводится относительно наиболее чувствительных групп рыб – лососевых – и учитывает, что проявление негативных эффектов возникает при содержании ВВ менее 20 мг/л [11]. Наиболее часто используется рекомендация о недопустимости превышения величины 25 мг/л (табл. 1).

Таблица 1. Примеры принятых в мире нормативов влияния взвешенных наносов на ихтиофауну

Table 1. Examples of the world-wide accepted norms of the suspended matter sediments on ichthyofauna

Страна	Документ	Концентрация взвешенных частиц, мг/л /мутность (NTU)	Диапазон применения норматива	Примечание
Россия	[10]	Не должно превышать фон более чем на 0,25 мг/л	Для рыбохозяйственных водотоков высшей и первой категории, содержащих в межень природной взвеси более 30 мг/л	
		Увеличение не более чем на 5 %	Для водотоков, содержащих более 30 мг/л, допускается увеличение до 5 %	
ЕС	[16]	≤ 25 мг/л	Для местообитаний лососевых рыб	За исключением паводков и низкого стока
		≤ 25 мг/л	Для местообитаний карповых рыб	

Продолжение таблицы 1

Страна	Документ	Концентрация взвешенных частиц, мг/л /мутность (NTU)	Диапазон применения норматива	Примечание
Канада	[12]	Краткосрочное увеличение не более чем на 25 мг/л (8 NTU), долгосрочное увеличение не более чем на 5 мг/л (2 NTU).	Для прозрачных потоков (фоновые мутности менее 25 мг/л)	24 ч – кратковременное воздействие; 30 дней – долгосрочное воздействие
		Увеличение любой продолжительности не более чем на 25 мг/л	Для мутных потоков (фоновые мутности 25–250 мг/л (8 – 80 NTU))	
		Не более чем на 10 % от фона	Фоновая мутность более 250 мг/л	
ЮАР	[18]	< 100 мг/л < 10 %	–	Не должно превышать фоновые значения
Малайзия	[17]	25 мг/л (5 NTU)	Воды класса 1	Класс 1 – очень чувствительные группы рыб; класс 2 – чувствительные группы рыб
		50 мг/л (50 NTU)	Воды класса 2	
Австралия (юго-запад)	[13]	10–20 NTU	Горные реки (150–1500 м. абс)	–
		10–20 NTU	Равнинные реки (<150 м. абс)	–
Австралия (юго-восток)		2–25 NTU	Горные реки (150–1500 м. абс)	–
		6–50 NTU	Равнинные реки (<150 м. абс)	–
Австралия (тропики)		2–15 NTU	–	–

Дифференцированные по группам ихтиофауны подходы разработаны в ЕС [16], ряде стран Азии (Малайзия, Южная Корея) [17]. В ЕС нормативы отдельно устанавливаются для лососевых и карповых групп рыб. Под реками лососевого типа понимаются водные объекты, пригодные для воспроизводства лососевых, хариусовых и сиговых рыб. Под реками карпового типа – водные объекты для воспроизводства рыб семейства карповых, щуковых, окуневых и угревых [16]. При этом нормативы сходны для обеих групп рыб (табл. 1).

Обоснование подходов к определению норматива содержания взвешенных веществ в Российской Федерации

Разработка региональных норм основана на определении объекта нормирования, учитываемой продолжительности воздействия и параметров нормирования (табл. 2) для каждого пространственного масштаба нормирования (бассейна реки, региона и др.), который устанавливается для однородных территорий по (а) содержанию ВВ и (б) составу ихтиофауны. Последнее позволяет учесть неоднородность природных условий большой страны и существование в реках, отличающихся по своему видовому составу сообществ рыб, адаптированных к разным условиям.

Таблица 2. Основные понятия региональной системы нормирования мутности воды для рек Российской Федерации

Table 2. The main notions of the regional system of river turbidity normalizing for rivers of the Russian Federation

Термин	Характеристика	Критерии выделения
Пространственный масштаб	Речной бассейн (до приемного водоема), подбассейны или конкретный водоток (створ)	Наличие изолированных группировок ихтиофауны в пределах речного бассейна; участки речной сети со специфическими проявлениями русловых процессов и экстремальными значениями стока наносов
Объекты нормирования	Бассейновые представители наиболее чувствительной к мутности семейств ихтиофауны	Широко распространенный вид ихтиофауны для данной части речной сети в ряду лососевидные-окуневые-карповые-сомовые-осетровые
Продолжительность воздействия	Периоды средней и пониженной водности	Допускаются кратковременные ($T < 24$ ч) повышения концентраций ВВ
	Периоды повышенного стока	
Параметры нормирования	Среднее годовое содержание ВВ S_0 , соответствующее периодам средней и пониженной водности; критическое содержание ВВ для ихтиофауны $S_{кр}$; изменение содержания ВВ в период повышенного стока $S_i(t)$	

Основные положения предлагаемого подхода к нормированию сводятся к следующему. Для каждого пространственного масштаба устанавливается величина критического содержания ВВ С_{кр} (мг/л), соответствующего пороговому значению, при котором наблюдаются негативные последствия для наиболее чувствительных рыб, распространенных в пределах анализируемой территории (табл. 3), и региональное значение S₀ [19]. Обоснование критических диапазонов С_{кр} изложено в специальных работах [1, 8, 15]. Среди основных семейств рыб рек России (карповые, лососевые, хариусовые, сиговые, окуневые, осетровые и сомовые) ряд по убыванию толерантности к содержанию ВВ выглядит следующим образом: осетровые и сомовые – карповые – окуневые – лососевые, сиговые, хариусовые.

Таблица 3. Обобщенные данные о воздействии содержания взвешенных веществ на рыб разных семейств

Table 3. Generalized data on the suspended matter impact on different species fish

Семейство	Концентрации ВВ, вызывающие негативные проявления, мг/л		Типовые приспособления к высоким концентрациям ВВ	Литература
	Перманентные эффекты	Острые и хронические тесты		
Лососевые	25–35	> 50	Миграция в чистые водотоки	[8, 15, 20, 21, 22]
Окуневые	50–100	> 100	Миграция в чистые водотоки	[15, 23, 24]
Карповые	> 100	> 1000	Короткая цикличность жизненного цикла, толстый чешуйный покров; умеренные или замедленные темпы метаболизма; невысокие потребности в кислороде	[1, 15, 25]
Сомовые и осетровые	> 1000	> 10000	Анабиоз при высокой мутности Хемосенсорные механизмы поиска пищи	[26, 27]

Величина $S_{кр}$ сопоставляется с фоновым значением S_0 :

- при $S_{кр} \geq S_0$ недопустимо превышение величины $S_{кр}$ для условий средней и пониженной водности;
- при $S_{кр} < S_0$ недопустимо превышение величины S_0 для периодов средней и пониженной водности.

В период повышенного стока допускается превышение не более чем на 5 % от фоновой мутности $S_i(t)$. Кроме того, допускаются кратковременные ($T < 24$ ч) повышения содержания ВВ выше этих значений, что является общепринятой практикой нормирования [20]. Таким образом, подобный подход в наибольшей степени соответствует учету режима стока наносов, наблюдаемой в пределах речного бассейна в течение продолжительного периода.

Возможность применения регионального нормирования на примере крупных речных бассейнов

Рассмотрены возможные диапазоны задания критических значений норматива взвешенных веществ для разных территорий России (табл. 4). Учитывались региональные значения содержания ВВ [28, 29], уточненные по современным данным [30, 31]. Из рассмотренных территорий наиболее простыми, с точки зрения нормирования, являются реки Камчатки, где массово распространены тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* [22], максимально чувствительные к содержанию взвешенных веществ (табл. 4). В XXI в. Камчатка является одним из последних в мире крупным регионом, где в первозданном виде повсеместно сохранились условия для естественного нереста лососей. Здесь воспроизводится примерно пятая часть мировых запасов диких лососей и наблюдается самое большое в мире видовое разнообразие. Рыбы из этой группы составляют основу ихтиофауны рек и озер полуострова, во многих водотоках никакие другие рыбы, кроме лососей, не встречаются.

Лососевым рыбам требуется холодная вода с низкой мутностью, быстрое течение, не заиленный гравийно-галечный грунт. Без сочетания всех этих факторов, свойственных для так называемых «лососевых» рек, популяции лососей быстро деградируют. В целом для рек Камчатки среднегодовое содержание ВВ в основном крайне низкое (менее 10 мг/л). Критическое значение загрязнения, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для лососевых рыб, следует рассматривать в диапазоне S от 25 до 35 мг/л [8]. Этот норматив не распространяется на реки вулканических территорий, где отмечаются повышенные значения содержания ВВ – до 100 мг/л и выше, а в пределах водотоков лахаровых долин во взвешенном состоянии переносятся крупные частицы, определяющие значения более 10000 мг/л [32]. Водотоки в этих условиях теряют рыбохозяйственное значение (табл. 4).

Таблица 4. Рекомендуемые региональные нормативы содержания взвешенных веществ*Table 4. Recommended regional norms of the suspended matter content*

Бассейн реки	Выделяемые территории	Наиболее чувствительные группы ихтиофауны и их распространение	Среднее содержание ВВ S ₀ , мг/л	Рекомендуемый норматив ВВ, мг/л
Реки Камчатского края	Большая часть гидрографической сети полуострова, «лососевые реки»	Тихоокеанские лососи	< 10 мг/л	25 мг/л
	Реки, протекающие в районах современной вулканической деятельности, лахоровых долинах	Лишены рыбохозяйственного значения	> 1000 мг/л	Не применим
Селенга	Верхняя часть бассейна	Семейство лососевые (таймень, ленок) и хариусовые	< 25 мг/л	25 мг/л
	Бассейн р. Туул	Семейство карповые (елец и карась)	> 100 мг/л	100 мг/л
	Нижняя часть бассейна	Семейство сиговые (сибирский и байкальский сиг, байкальский омуль, пелядь)	50–100 мг/л	50 мг/л (25 мг/л – в период нагула лососевых при S < 25 мг/л (S < S ₀))
Лена	Основное русло р. Лены и крупнейшие притоки (Вилюй, Алдан)	Семейство сиговые (сиги, чир, муксун, нельма)	50–100 мг/л	50 мг/л
	Большая часть гидрографической сети полуострова	Семейство лососевые (таймень, ленок, гольцы) и хариусовые	< 50	25 мг/л

Реки расположенного на стыке степной и лесостепной зон бассейна Селенги, являющегося крупнейшим притоком оз. Байкал, заселены 28–33 видами рыб (в зависимости от взглядов на таксономический ранг отдельных популяций), относящихся к 12 семействам [33]. Ихтиофауна включает в себя пять чужеродных видов [34]. Все обитающие здесь виды относятся к фаунистическим комплексам Палеарктики, в основном – бореальному предгорному, бореальному равнинному, арктическому пресноводному и древнему верхне-третичному. Широко распространены как лимнофильные виды бореального равнинного

комплекса (плотва, окунь, щука, язь, карась и др.), занимающие равнинные и предгорные водотоки бассейна, так и лимнореофильные виды бореального предгорного комплекса (таймень, хариус, ленок, голец, голец и др.), населяющие в большей степени среднее и верхнее течение реки, а также арктического пресноводного комплекса (сиги, налим, омуль).

Бассейн Селенги характеризуется контрастным режимом ВВ. Максимальная зона мутности [35, 36] – от 100–250 г/м³ – расположена в средней и нижней частях притоков – рек Орхон и Туул (Монголия), нижнем течении Селенги и бассейнах ее российских притоков. Высокие значения содержания ВВ в бассейне р. Туул определены антропогенными причинами (сбросы неочищенных сточных вод г. Улан-Батор, эрозия сельскохозяйственных и горнодобывающих территорий). Здесь несомненными доминантами являются карповые (елец и карась). Высокие фоновые значения ВВ характерны бассейну р. Орхон (менее 100 мг/л), что и привело к созданию здесь особых местообитаний. В этой связи норматив должен устанавливаться для этой зоны в размере 100 мг/л (табл. 4). На остальную часть речной сети рекомендуется дифференцированный норматив: 25 мг/л для рек, являющихся местообитанием семейства лососевых (таймень, ленок) и хариусовых, и 50 мг/л для рек, где преобладают сиговые (омуль) (рисунок). Для участка бассейна с трансформированным составом ихтиофауны (р. Туул) современный норматив соответствует 100 мг/л (табл. 3), однако для восстановления естественной экосистемы он будет требовать ужесточения и приведения к фоновым значениям S_0 . Важно отметить, что после весеннего нереста лососевые рыбы бассейна Селенги (таймень и ленок), совершая миграции в поисках корма, спускаются вниз по течению и нагуливаются на устьевых участках притоков и в основном русле Селенги, попадая в нижнюю область бассейна. В этой связи для осенне-зимнего периода, когда мутность воды в реках S_i меньше среднегодовой мутности воды S_0 , следует рассматривать более жесткий норматив для этой области – 25 мг/л (табл. 4).

Современный состав ихтиофауны р. Лены включает 46 видов и подвигов [39]. В пределах всего бассейна преобладают лососевые (массово – ленок, таймень, голец), сиговые и хариусовые рыбы. Повсеместное распространение лососевых определяет критический уровень $Skp = 25–35$ мг/л. Учитывая, что большая часть бассейна расположена в области ВВ с концентрацией < 50 мг/л [40], это позволяет обосновать критическое значение мутности воды, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для ихтиофауны бассейна Лены, в диапазоне от 25 до 35 мг/л. Для участков нижнего течения Лены и крупнейших притоков, отличающихся более высокими значениями мутности воды ($S_0 = 50–100$ мг/л), из наиболее чувствительных в составе ихтиофауны преобладают представители семейства сиговых (сиги,

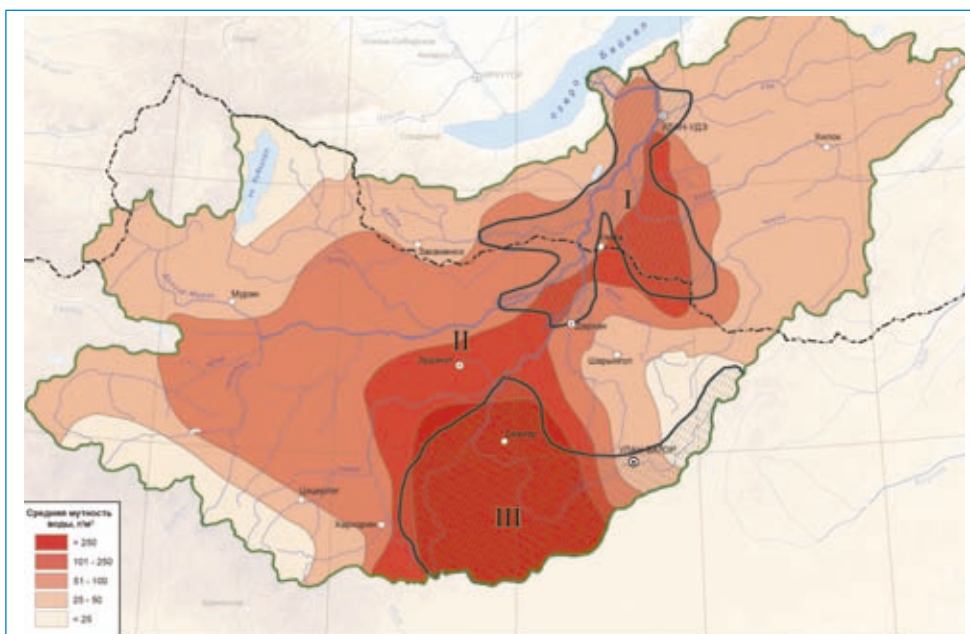


Рисунок. Карта средней мутности бассейна р. Селенги (по данным за многолетний период до 2016 г.) и распространение наиболее чувствительных групп ихтиофауны: I – ареалы заходов на нерест байкальского омуля *Coregonus migratorius*; II – ареалы распространения тайменя *Hucho taimen* и ленка *Brachymystax lenok* (исторические, естественные ареалы); III – зона распространения карповых *Cyprinidae* (бассейн р. Туул); ареалы выделены на основе обобщения данных ФГУП «Востсибрыбцентр» с использованием данных ФГУ «Байкалрыбвод», литературных источников [37] и Экологического атласа Байкала [38].

Figure. The map of average turbidity in the Selenga River basin (according to the many-year data up to 2016) and distribution of the most sensitive groups of ichthyofauna I – natural habitat of *Coregonus migratorius* income for spawning; II – habitats of *Hucho taimen* and *Brachymystax lenok* distribution (historical natural habitats); III – zone of *Cyprinidae* distribution (the Tuul River basin); the habitats are denominated compliant to “Vostsibrybtsentr” data with the use of “Baikalrybvod” data, references [37] and Ecological atlas of Baikal [38].

чир, муксун, нельма). В этой связи для них рекомендуется норматив допустимой мутности 50 мг/л. Особо следует рассматривать обособленные области распространения ряда лососевых рыб (обыкновенного валька, сибирского хариуса, представителей голецов рода *Salvelinus*), распространенных в бассейне Лены и пространственно пересекающихся с основными ареалами рыб. Например, якутский голец *Salvelinus jacuticus* Borisov [41] распространен исключительно в озерно-речных системах придельтовой зоны, для которых требуется особый учет ВВ.

ВЫВОДЫ

Мировой опыт и установленные экологические диапазоны значений ВВ позволили сформулировать основные рекомендации по развитию системы рыбохозяйственного нормирования мутности для рек Российской Федерации и корректировки действующих требований. Учитывая размеры территории, предложено установление пространственно-дифференцированного подхода к разработке стандартов. Он должен базироваться на региональных (устанавливаемых для участков речной сети) оценках содержания ВВ и учитывать ее естественную временную (сезонную) изменчивость. Основным признаком для формулировки регионального норматива предлагается использовать соотношение пороговых значений, при котором наблюдаются негативные последствия для наиболее чувствительных рыб Скр, и среднегодовых фоновых значений содержания ВВ S_0 .

На примере трех крупных территорий Российской Федерации (бассейны рек Лены и Селенги и полуострова Камчатка) рассмотрены варианты обоснования нормативов ВВ. Для рек Камчатки критическое значение ВВ определяется чувствительностью широко распространенных на полуострове лососевых рыб и соответствует диапазону Скр от 25 до 35 мг/л. Реки территорий современного вулканизма, отличающиеся высокими значениями S_0 , не подлежат применению норматива. Дифференцированный норматив для бассейна Селенги представляет собой установление аналогичного Скр от 25 до 35 мг/л для рек, являющихся местообитанием семейства лососевых (таймень, ленок) и хариусовых, и 50 мг/л для рек, где преобладают сиговые (омуль). Норматив для бассейна р. Лены определяется дифференциацией фоновых значений мутности: для большей части речной сети он соответствует 25–35 мг/л и отличается для участков нижнего течения, характеризующихся высокими значениями ВВ (50–100 мг/л).

Точность применения предложенного подхода зависит от достоверности выделения однородных территорий по режиму ВВ и составу ихтиофауны. При этом алгоритм его реализации для отдельных водных объектов аналогично связан с установлением бассейновых представителей наиболее чувствительных к мутности семейств ихтиофауны, для которых рекомендуется использовать обобщенные данные о воздействии содержания взвешенных веществ на рыб разных семейств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P., Jones I.* The impacts of fine sediment on riverine fish // *Hydrol. Process.* 2011. Vol. 25. P. 1800–1821.
2. *Ryan P.A.* Environmental effects of sediment on New Zealand streams: A review // *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 1991. Vol. 25. No. 2. P. 207–221.

3. Wilber D.H., Clarke D.G. Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries // North Am. J. Fish. Manag. 2001. Vol. 21(4). P. 855–875.
4. Franssen J., Lapointe M., Magnan P. Geomorphic controls on fine sediment reinfiltration into salmonid spawning gravels and the implications for spawning habitat rehabilitation // Geomorphology. 2014. Vol. 211. P. 11–21.
5. Serena C., Bertuzzo E., Singer G., Battin T. J., Montanari A., and Rinaldo A. Hydrologic controls on basin-scale distribution of benthic invertebrates // Water Resour. Res. 2014. Vol. 50. No. 4. P. 2903–2920.
6. Murphy John F., J. Iwan Jones, James L. Pretty, Chas P. Duerdoth, Adrianna Hawczak, Amanda Arnold, John H. Blackburn. Development of a biotic index using stream macroinvertebrates to assess stress from deposited fine sediment // Freshw. Biol. 2015. Vol. 60. No. 10. P. 2019–2036.
7. Белозерова Е.В., Чалов С.Р. Определение мутности речных вод оптическими методами // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. Т. 6. № 5. С. 39–45.
8. Чалов С.Р., Леман В.Н. Нормирование допустимого воздействия открытых разработок полезных ископаемых на речные системы Камчатки // Водное хозяйство России. 2014. Т. 2. С. 69–86.
9. Баготский С.В., Санин М.В., Эйнон Л.О. Некоторые подходы к экологически обоснованному нормированию загрязняющих веществ в водоемах 1992 // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 101–106.
10. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: ВНИРО, 2011. 257 с.
11. Есин Е.В. Обзор токсичности основных элементов-загрязнителей лососевых нерестовых рек камчатки // Известия ТИНРО. 2015. Т. 180. С. 210–225.
12. CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life: Imidacloprid // Scientific Supporting Document. 2007.
13. ANZECC. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality // Book. 2000.
14. Berry W., Rubenstein N., Melzian B. and B. Hill. The biological effects of suspended and bedded sediment (SABS) in aquatic systems: A review // United States Environ. Prot. Agency, Duluth. 2003.
15. Newcombe C.P., Jensen J.O.T. Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Synthesis for Quantitative Assessment of Risk and Impact // North Am. J. Fish. Manag. 1996. Vol. 16. No. 4. P. 693–727.
16. DIRECTIVE 2006/44/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life // Off. J. Eur. Union. 2006. Vol. 264. P. 20–31.
17. National Water Quality Standards For Malaysia. Interim National Water Quality Standards For Malaysia [Electronic resource] // WEPMA. 2006.
18. DWAF D. of water and forestry. South African Water Quality Guidelines. Vol. 7: Aquatic ecosystems // Aquatic Ecosystems. 1996.

19. *Караушев А.В.* Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 444 с.
20. European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on Finely Divided Solids and Inland Fisheries // EUROPEAN INLAND FISHERIES ADVISORY COMMISSION. 1964.
21. *Чалов С.Р., Школьный Д.И., Промахова Е.В., Леман В.Н., Романченко А.О.* Формирование стока наносов в районах открытых разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. 2015. Вып. 2. С. 22–30.
22. Опасные русловые процессы и среда обитания лососевых рыб / под ред. Чалова С.Р., Леман В.Н., Чаловой А.С. М., 2014. 240 с.
23. *Ardjosoediro I., Ramnarine I.W.* The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain // Aquaculture. 2002. Vol. 212, No. 1–4. P. 159–165.
24. *Morgan David L., Simon J. Hambleton, Howard S. Gill, and Stephen J. Beatty.* Distribution, biology and likely impacts of the introduced redbfin perch (*Perca fluviatilis*) (Percidae) in Western Australia // Mar. Freshw. Res. 2002. Vol. 53. No. 8. P. 1211–1221.
25. *Lenat D.R., Crawford J.K.* Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams // Hydrobiologia. 1994. P. 185–199.
26. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Effects of Turbidity, Light Level, and Cover on Predation of White Sturgeon Larvae by Prickly Sculpins // Trans. Am. Fish. Soc. 2005. Vol. 134. No. 2. P. 369–374.
27. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Vulnerability of young white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, to predation in the presence of alternative prey // Environ. Biol. Fishes. 2005. Vol. 74. 389 pp.
28. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / под ред. Караушева А.В. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 240 с.
29. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 264 с.
30. *Chalov Sergey R., Shuguang Liu, Roman S. Chalov, Ekaterina R. Chalova, Alexey V. Chernov, Ekaterina V. Promakhova, Konstantin M. Berkovitch, Aleksandra S. Chalova, Aleksandr S. Zavadsky, and Nadezhda Mikhailova.* Environmental and human impacts on sediment transport of the largest Asian rivers of Russia and China // Environ. Earth Sci. Springer Berlin Heidelberg, 2018. Vol. 77. No. 7. P. 1–14.
31. *Магрицкий Д.В.* Годовой сток взвешенных наносов российских рек водосбора Северного Ледовитого океана и его антропогенные изменения // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2010. № 6. P. 17–24.
32. *Chalov S.R., Esin E.V.* The principles of ecological classification of rivers in areas of contemporary volcanism (Exemplified by Kamchatka) // Geogr. Nat. Resour. 2015. Vol. 36.No. P. 62–69.
33. *Karthe D., Kasimov N., Chalov S., Shinkareva G., Malsy M., Menzel L., Theuring P., Hartwig M. Schweitzer C., Hofmann J., Priess J. & Lychagin M.* Integrating Multi-Scale Data for the Assessment of Water Availability and Quality in the Kharaa - Orkhon - Selenga River System // Geography, Environment, Sustainability. 2014. No. 3(7). P. 65–86.

34. Эколога-географический атлас-монография Селенга-Байкал / ред: Н.С. Касимов, Н. Е. Кошелева, М. Ю. Лычагин, С.Р. Чалов. М.: геогр. фак-тет. МГУ. 2018. 288 с.
35. Алексеевский Н.И., Белозёрова Е.В., Касимов Н.С., Чалов С.Р. Пространственная изменчивость характеристик стока взвешенных наносов в бассейне Селенги в период дождевых паводков // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 60–65.
36. Chalov S.R., Jerker Jarsjö, Kasimov N.S., Romanchenko A.O., Pietroń J., Thorlund J. Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia and Russia // Environ. Earth Sci. 2014. Vol. 73. No. P. 663–680.
37. Карасев Г.Л. Рыбы Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1987. 295 с.
38. Батуев А.Р., Корытный Л.М., Энхтайван Ж., Оюунгэрэл Д. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Ин-тут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.
39. Кириллов А.Ф., Книжин И.Б. Современный состав и история формирования ихтиофауны реки Лена (бассейн моря Лаптевых) // Вопросы ихтиологии. 2014. Т. 54. № 4. С. 413–425.
40. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Varabanova E.A. Integrated projection for runoff changes in large Russian river basins in the XXI century // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2016. No. 9(2). P. 38–46.
41. Savvaitova K.A. Patterns of Diversity and Processes of Speciation in Arctic Char // Nord. J. Freshw. Res. 1995.

Для цитирования: Чалов С.Р., Леман В.Н. Региональный подход к рыбохозяйственному нормированию содержания взвешенных веществ // Водное хозяйство России. 2019. № 6. С. 66–83.

Сведения об авторах:

Чалов Сергей Романович, канд. геогр. наук, доцент, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ), Россия, 199991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: srchalov@geogr.msu.ru

Леман Всеволод Николаевич, канд. биол. наук, доцент, заведующий лабораторией воспроизводства лососевых рыб, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), Россия, 107140, Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17; e-mail: vsew.leman@yandex.ru

REGIONAL APPROACH TO FISHERY NORMALIZATION OF SUSPENDED MATTER CONTENT

Sergey R. Chalov^{1,2}, Vsevolov N. Leman²

E-mail: srchalov@geogr.msu.ru

¹ Moscow State University, Moscow, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

Key words: normalizing, fishery norms suspended matter, ichthyofauna, the Selenga River, The Lena River, Kamchatka.

Abstract: The article discusses regional approach to fishery suspended sediment guidelines. The authors have proposed a system of regional normalizing with taking into account the ichthyofauna structure and background conditions to be realized at the basin level. We used the fish ranking against the sensitivity threshold by the tolerance decrease from sturgeon and catfish species (1000 mg/l) to carp (250 mg/l), perch (100 mg/l) and salmon (910 mg/l), obvious changes with 25-35 mg/l). We have tested the system for three major territories of the Russian Federation (the Selenga River and Lena River basins and the Kamchatka Peninsula). For the Kamchatka rivers we have substantiated a critical value of the suspended matter content stable exceeding of which should lead to negative consequences for salmon species, within the concentration (S) range from 25 to 35 mg/l; the norm's action does not cover the rivers of the current volcanism territories. We recommend the differentiated following norm for the Selenga River basin: 25 mg/l for rivers that are habitats of salmon and grayling and 50 mg/l for rivers where whitefish species predominate. The norm for the Lena River basin is in the range from 25 to 35 mg/l for the whole river network but some downstream ranges with higher values of suspended matter content (50–100 mg/l).

About the authors:

Sergey R. Chalov, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Moscow State University Hydrology Department, Leninskie gory, 1, Moscow, 199991, Russia; e-mail: srchalov@geogr.msu.ru

Vsevolod N. Leman, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head, Russian Research Institute of Fishery and Oceanography Chair of Salmon Fish Reproduction, ul. Verkhnyaya Krasnoselskaya, 17, Moscow 107140, Russia; e-mail: vsew.leman@yandex.ru

For citation: Chalov S.R., Leman V.N., *Regional Approach to the Fishery Normalization of the Suspended Matter Content // Water Sector of Russia. 2019 No. 6. P. 66–83.*

REFERENCES

1. Kemp P., Sear D., Collins A., Naden P. and Iwan Jones. The impacts of fine sediment on riverine fish // *Hydrol. Process.* 2011. Vol. 25. P. 1800–1821.
2. Ryan P.A. Environmental effects of sediment on New Zealand streams: A review // *New Zeal. J. Mar. Freshw. Res.* 1991. Vol. 25. No. 2. P. 207–221.
3. Wilber D.H., Clarke D.G. Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries // *North Am. J. Fish. Manag.* 2001. Vol. 21(4). P. 855–875.
4. Franssen J., Lapointe M., Magnan P. Geomorphic controls on fine sediment re-infiltration into salmonid spawning gravels and the implications for spawning habitat rehabilitation // *Geomorphology.* 2014. Vol. 211. P. 11–21.
5. Ceola S., Bertuzzo E., Singer G., Battin T.J., Montanari A. and A. Rinaldo. Hydrologic controls on basin-scale distribution of benthic invertebrates // *Water Resour. Res.* 2014. Vol. 50. No. 4. P. 2903–2920.
6. Murphy J.F., Jones J. I., Pretty J.L., Duerdoth C.P., Hawczak A., Arnold A., Blackbur J. H. Development of a biotic index using stream macroinvertebrates to assess stress from deposited fine sediment // *Freshw. Biol.* 2015. Vol. 60. No. 10. P. 2019–2036.
7. Belozeroва E.V., Chalov S.R. Opredelenie mutnosti rechnykh vod opticheskimi metodami [The river water turbidity determination by optical methods] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5 Geografiya.* 2013. Vol. 6. No. 5. P. 39–45.
8. Chalov S.R., Leman V.N. Normirovanie dopustimogo vozdeystviya otkrytykh razrabotok poleznykh iskopaemykh na rechnye sistemy Kamchatki [Normalizing of permissible im-

- pact of the minerals open mining on the Kamchatka river systems] // *Vodnoe khoziaistvo Rossii*. 2014. Vol. 2. P. 69–86.
9. *Bagotskii S.V., Sanin M.V., Eignor L.O.* Nekotorye podkhody k ekologicheski obosnovannomu normirovaniu zagriazniaiushchikh veshchestv v vodoemakh 1992 [Some approaches to ecologically proved normalization of pollutants in water bodies in 1992] // *Vodnye resursy*. 1992. Vol. 6. P. 101–106.
 10. Normativy kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhoziaistvennogo znachenii, v tom chisle normativy PDK vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhoziaistvennogo znachenii [Water quality norms of fishery water bodies including norms of maximal permissible concentration of adverse substances in fishery water bodies water]. M.: VNIRO, 2011. 257 p.
 11. *Esin E.V.* Obzor toksichnosti osnovnykh elementov-zagriaznitelei lososevykh nerestovykh rek Kamchatki [Review of toxicity with the main pollutants of the salmon-spawning rivers of Kamchatka] // *Izvestiia TINRO*. 2015. Vol. 180. P. 210–225.
 12. CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life: Imidacloprid // Scientific Supporting Document. 2007.
 13. ANZECC. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality // Book. 2000.
 14. *Berry W., Rubenstein N., Melzian B. and B. Hill.* The biological effects of suspended and bedded sediment (SABS) in aquatic systems: A review // United States Environ. Prot. Agency, Duluth. 2003.
 15. *Newcombe C.P., Jensen J.O.T.* Channel Suspended Sediment and Fisheries: A Synthesis for Quantitative Assessment of Risk and Impact // *North Am. J. Fish. Manag.* 1996. Vol. 16. No. 4. P. 693–727.
 16. Directive 2006/44/ec of the european parliament and of the council of 6 September 2006on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life // *Off. J. Eur. Union*. 2006. Vol. 264. P. 20–31.
 17. National Water Quality Standards For Malaysia. Interim National Water Quality Standards For Malaysia [Electronic resource] // WEPA. 2006.
 18. DWAF D. of water and forestry. South African Water Quality Guidelines. Vol. 7: Aquatic ecosystems // *Aquatic Ecosystems*. 1996.
 19. *Karashchev A.V.* Teoriia i metody rascheta rechnykh nanosov [The theory and methods of river deposits calculations]. L.: Gidrometeoizdat, 1977. Vol. 444.
 20. European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC). Water quality criteria for European freshwater fish. Report on Finely Divided Solids and Inland Fisheries // European inland fisheries advisory commission. 1964.
 21. *Chalov S.R., Shkol'nyi D.I., Promakhova E.V., Leman V.N., Romanchenko A.O.* Formirovanie stoka nanosov v raionakh otkrytykh razrabotok rossypanykh mestorozhdenii [Formation of the sediments runoff in the areas of mineral open mining] // *Geografiia i prirodnye resursy*. 2015. Vol. 2. P. 22–30.
 22. Opasnye ruslovyie protsessy i sreda obitaniia lososevykh ryb [Dangerous channel processes and the salmon species habitat] / pod red. Chalova S.R., Leman V.N., Chalovoi A.S. M., 2014. 240 p.
 23. *Ardjosoediro I., Ramnarine I.W.* The influence of turbidity on growth, feed conversion and survivorship of the Jamaica red tilapia strain // *Aquaculture*. 2002. Vol. 212. No. 1–4. P. 159–165.
 24. *Morgan, David L., Simon J. Hambleton, Howard S. Gill, and Stephen J. Beatty.* Distribution, biology and likely impacts of the introduced redbfin perch (*Perca fluviatilis*) (Percidae) in Western Australia // *Mar. Freshw. Res.* 2002. Vol. 53. No. 8. P. 1211–1221.
 25. *Lenat D.R., Crawford J.K.* Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont streams // *Hydrobiologia*. 1994.

26. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Effects of Turbidity, Light Level, and Cover on Predation of White Sturgeon Larvae by Prickly Sculpins // *Trans. Am. Fish. Soc.* 2005. Vol. 134. No. 2. P. 369–374.
27. *Gadomski D.M., Parsley M.J.* Vulnerability of young white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, to predation in the presence of alternative prey // *Environ. Biol. Fishes.* 2005. Vol. 74. P. 389.
28. Сток наносов, его изучение и географическое распределение [Sediments flow, its studying and geographical distribution] / ed. Karashev A.V. L.: Gidrometeoizdat, 1977. 240 p.
29. *Dedkov A.P., Mozzherin V.I.* Eroziia i stok наносов на Земле [Erosion and sediments runoff on the Earth] Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 1984. 264 p.
30. *Chalov, Sergey R., Shuguang Liu, Roman S. Chalov, Ekaterina R. Chalova, Alexey V. Chernov, Ekaterina V. Promakhova, Konstantin M. Berkovitch, Aleksandra S. Chalova, Aleksandr S. Zavadsky, and Nadezhda Mikhailova.* Environmental and human impacts on sediment transport of the largest Asian rivers of Russia and China // *Environ. Earth Sci.* Springer Berlin Heidelberg, 2018. Vol. 77. No. 7. P. 1–14.
31. *Magritskii D.V.* Godovoi stok vzveshennykh наносов rossiiskikh rek vodosbora Severnogo Ledovitogo okeana i ego antropogennye izmeneniia [Annual flow of the Arctic Ocean catchment Russia rivers' suspended sediments and its anthropogenic changes] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serii 5 Geografiia.* 2010. No. 6. P. 17–24.
32. *Chalov S.R., Esin E.V.* The principles of ecological classification of rivers in areas of contemporary volcanism (Exemplified by Kamchatka) // *Geogr. Nat. Resour.* 2015. Vol. 36. No. 1. P. 62–69.
33. *Karthe, D., Kasimov N., Chalov S., Shinkareva G., Malsy M., Menzel L, Theuring P., Hartwig M., Schweitzer C., Hofmann J., Priess J. & Lychagin M.* Integrating Multi-Scale Data for the Assessment of Water Availability and Quality in the Kharaa – Orkhon – Selenga River System // *Geography, Environment, Sustainability.* 2014. No. 3(7). P. 65–86.
34. *Douglas M.R. et al.* Invasion Ecology: An International Perspective Centered in the Hol-arctic // *Fisheries.* 2015.
35. *Alekseevskii N.I., Belozerova E.V., Kasimov N.S., Chalov S.R.* Prostranstvennaia izmenchivost' kharakteristik stoka vzveshennykh наносов v basseine Selengi v period dozhdevykh povodkov [Spatial variability of the suspended sediments flow characteristics' in the Selenga River basin during the rain floods period] / *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serii 5. Geografiia.* 2013. Vol. 3. P. 60–65.
36. *Chalov S.R., Jerker Jarsjö, N.S. Kasimov, A.O. Romanchenko, Jan Pietróń, Josefín Thorslund.* Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia and Russia // *Environ. Earth Sci.* 2014. Vol. 73. No. 2. P. 663–680.
37. *Karasev G.L.* Ryby Zabaikal'ia [Fish of Transbaikalia]. Novosibirsk: Nauka, 1987. 295 p.
38. *Batuev A.R., Korytnyi L.M., Enkhtaivan Zh., Oiuungerel D.* Ekologicheskii Atlas basseina ozera Baikal [Ecological atlas of the Lake Baikal basin] / pod red. Batuev A.R., Korytnyi L.M., Irkutsk: Institut geografii im. V.B. Sochavy Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 2015. 145 p.
39. *Kirillov A.F., Knizhin I.B.* Sovremennyi sostav i istoriia formirovaniia ikhtiofauny reki Lena (bassein moria Laptevykh) [The contemporary structure and history of the Lena River (the Laptev Sea basin) ichtyofauna formation] // *Voprosy ikhtiologii.* 2014. Vol. 54. No. 4. P. 413.
40. *Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Barabanova E.A.* Integrated projection for runoff changes in large Russian river basins in the XXI century // *Geography, Environment, Sustainability.* 2016. No. 9 (2). P. 38–46.
41. *Savvaitova K.A.* Patterns of Diversity and Processes of Speciation in Arctic Char // *Nord. J. Freshw. Res.* 1995.