

УДК 543.3

НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТОК РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА РЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)*

© 2014 г. С.Р. Чалов¹, В.Н. Леман²¹ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва*² *ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва***Ключевые слова:** речные системы, техногенное воздействие, россыпные месторождения.

С.Р. Чалов



В.Н. Леман

На основе данных многолетнего гидрологического и экологического мониторинга (1994–2013 гг.) рек бассейна Вывенки (Корякское нагорье, Камчатский край) приведены результаты обоснования допустимого воздействия открытых разработок россыпной платины полезных ископаемых на речные системы. Рассмотрены региональные проблемы нормирования для объектов горнодобывающей деятельности.

Показано, что основным аспектом воздействия на речные экосистемы при открытой разработке полезных ископаемых становится поступление твердого материала в реки. Зависимость объемов поступления взвеси от площади нарушенных земель использована для нормирования антропогенной нагрузки на реки.

Введение

Действующее природоохранное законодательство предусматривает разработку нормативов допустимого воздействия (НДВ) на водные объекты [1] и определяет перечень видов хозяйственной деятельности, для которых данный норматив разрабатывается [2]. НДВ – это допустимое совокупное воздействие всех источников техногенного воздействия, влияющих на водный объект или его часть. НДВ разрабатывают для водных объектов или их участков, которые могут быть подвергнуты в течение ближайших 5 лет существенным нагрузкам в результате хозяйственной и иной деятельности

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-05-33090, 12-05-00069-а, 12-05-00348-а и ЗАО «Корякгеолдобыча».

на соответствующей водосборной территории, включая акваторию водного объекта. Величину НДС определяют по критическим уровням состояния речных вод (по параметрам качества воды или величины речного стока), она должна служить для принятия решений об ограничении хозяйственной деятельности, негативно влияющей на окружающую среду.

Однако система НДС выглядит методически недостаточно проработанной [3–6], что ярко проявляется при нормировании использования водных объектов для разведки и добычи полезных ископаемых. Для рек районов ведения открытых разработок полезных ископаемых воздействие на водные объекты, как правило, регулируется по двум характеристикам – режиму водного стока [7] и содержанию в воде растворенных и взвешенных веществ [8, 9].

Регулирование хозяйственной деятельности через водный сток относительно хорошо проработано системой нормирования его изъятий, основанной на определении предельно допустимого снижения расходов воды [10]. Нормирование базируется на понятии «экологический сток», которое описывает количественные, качественные и временные параметры стока, необходимые для поддержания пресноводных и эстуарных экосистем, а также жизнеобеспечения и благополучия населения. Критические объемы речного стока устанавливаются на основе анализа связей гидрологических характеристик рек с продуктивностью экологических систем или с характеризующими ее косвенными показателями, по которым определяют переломные точки в области маловодных лет и соответствующие им расходы ($Q_{\text{крит}}$) и объемы стока ($W_{\text{крит}}$), свидетельствующие о критическом состоянии экологических систем [2]. В частности, используют эмпирические зависимости между численностью и состоянием популяций рыб и других гидробионтов и характеристиками гидрологического режима (объемы стока, его внутригодовое распределение в годы различной водности и за отдельные, экологически более значимые, периоды воспроизводства рыб) [10, 11].

Регулирование открытых разработок россыпных месторождений по загрязнению воды осуществляется на основе сопоставления данных о количестве поступающих в водные объекты вредных веществ с действующими нормативами качества воды [12, 13], в т. ч. на основе предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воде водных объектов. Для водных объектов рыбохозяйственного значения действующим законодательством указывается на необходимость разработки региональных нормативов ПДК веществ с учетом природных особенностей водных объектов [13–15] и с целью сохранения сформировавшихся под влиянием природных факторов состава воды водных объектов.

Нормирование открытых разработок полезных ископаемых особенно актуально для Камчатского края. С одной стороны, здесь обитает 1/5 численности всех диких популяций лососей, с другой – имеются планы актив-

ного освоения минерально-сырьевой базы [16]. К настоящему времени выявлены 10 месторождений и 22 перспективных участка с общими разведанными запасами и прогнозными ресурсами золота 150,6 и 1171 т. Разработки месторождений твердых полезных ископаемых в последнее десятилетие стали здесь основным источником загрязнения рек [17, 18].

Нормирование поступления минеральных взвесей основано на рыбохозяйственных требованиях [12]: 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 до 5 %. Известно, что лосось предпочитает чистые прозрачные реки с минимальным количеством взвешенного материала [19]. В экспериментах пороговые значения концентраций минеральных взвесей, вызывающие у лососевых рыб нарушения жизнедеятельности и смерть, сильно разнятся в зависимости от вида, стадии жизненного цикла, температуры и дополнительных стрессирующих факторов [20–22]. Зарегистрировано снижение численности хариуса и сига в сибирских реках в 4–20 раз при повышении природного фона мутности до 40–60 мг/л [23]. Для рек Великобритании пороговые концентрации взвесей, приводящие к падению численности лососей, определены в диапазоне 100–300 мг/л [24]. В целом опасным для лососей становится продолжительное пребывание в воде с мутностью более 25–35 мг/л [25, 26] (табл. 1).

Таблица 1. Зарегистрированные воздействия повышенной мутности на выживаемость лососевых рыб

Вид рыбы	Мутность воды, мг/л	Продолжительность воздействия, дни	Экологический эффект	Источник данных
Хариус	25	24	6 % смертность ранней молодежи	[27]
	65	24	15 % смертность ранней молодежи	[27]
	185	72	41 % смертность ранней молодежи	[27]
Чавыча	488	96	50 % смертность ранней молодежи	[28]
	207	1	100 % смертность молодежи	[29]
Кижуч	40	96	Повреждение жабр	[30]
Радужная форель	47	1152	100 % смертность икры в грунте	[31]
Форель, сиг-пелядь	1200	48	100 % смертность молодежи	[23]

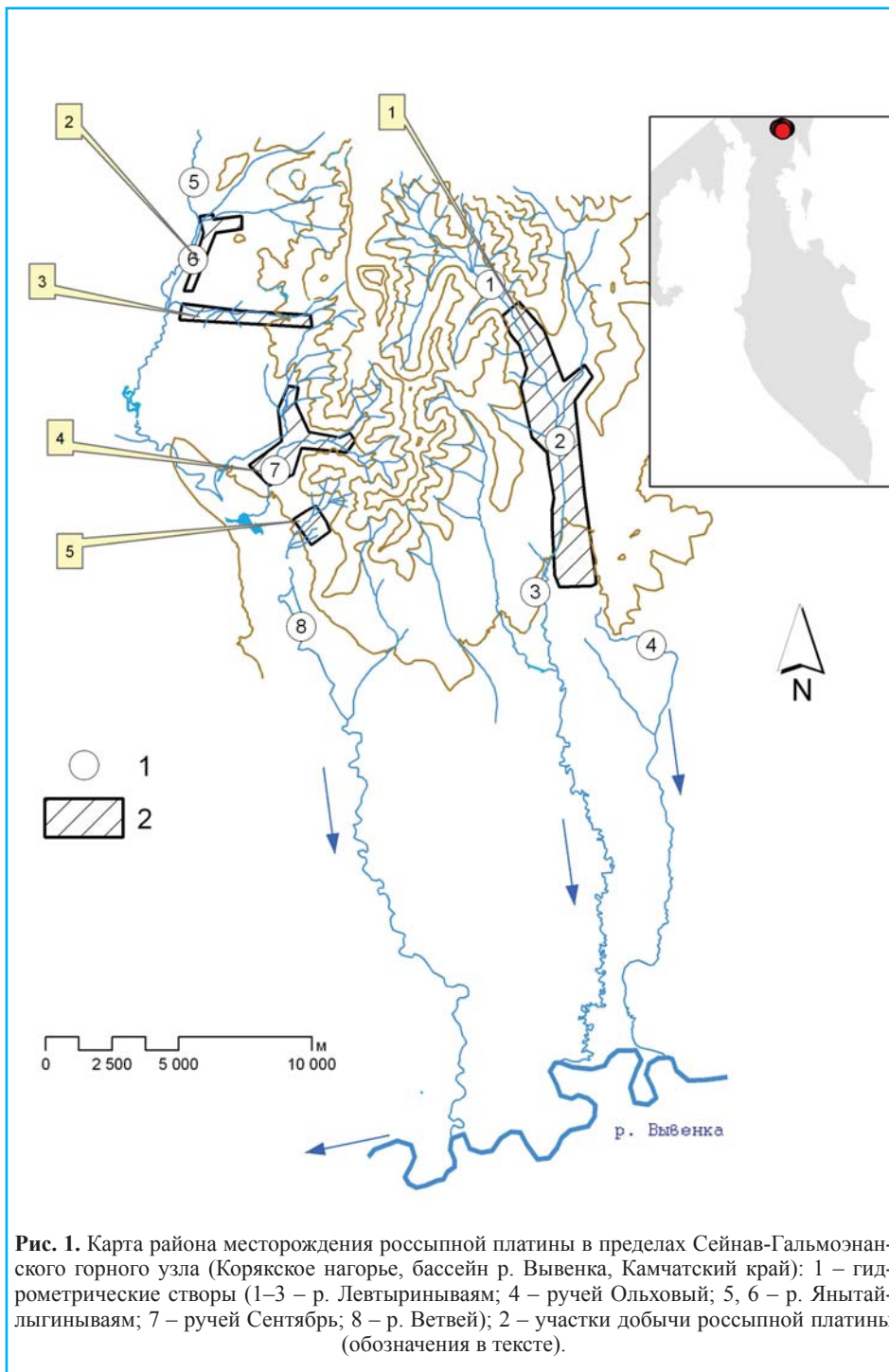
Проблема разработки НДВ для рек, протекающих в районах разработок полезных ископаемых, состоит в отсутствии многолетнего комплексного гидрометеорологического и экологического мониторинга. Без внешнего контроля нормируемое воздействие может существенно отклоняться от величины фактически наносимого ущерба. В результате труднодостижимой оказывается главная задача НДВ – сведение к минимуму последствий антропогенных воздействий, создающих риск возникновения необратимых негативных изменений в экологической системе водного объекта [32].

Многолетние (1994–2013 гг.) исследования ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО) и географического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова на реках бассейна Вывенки (Ветвейский хребет, Коряжское нагорье, Камчатский край) позволили получить фактические данные об изменении сообществ лососевых рыб в связи с разработкой месторождений россыпной платины, начиная от предшествующего началу горных работ периода. На их основе создана база данных, используемая для апробации системы нормирования допустимого воздействия как инструмента ограничения хозяйственной деятельности с позиций сохранения сообществ водных организмов. Цель данной работы – демонстрация на примере бассейна р. Вывенка принципов экологически обоснованного нормирования допустимого воздействия при ведении открытой разработки полезных ископаемых в долинах рек, в том числе:

- обоснование критериев нормирования допустимого воздействия по привнесу взвешенных веществ и забору водных ресурсов на основе данных многолетнего мониторинга;
- определение региональных фоновых и техногенно измененных показателей поступления взвешенных веществ в речную сеть при открытой разработке полезных ископаемых;
- оценка экологических последствий ведения разработок полезных ископаемых в связи с загрязнением взвешенными веществами;
- учет фактических данных о состоянии сообществ для научного обоснования ограничений хозяйственной деятельности.

Материалы и методика исследований

Объект исследования. Территория Сейнав-Гальмознанского горного узла относится к среднему правобережному течению бассейна р. Вывенки. Россыпные месторождения платины локализованы в долинах правых притоков крупнейшего притока Берингова моря р. Вывенки (длина 395 км) – рек Ветвей, Левтыриновьям и ручья Ольховый (рис. 1). Река Ветвей впадает с правого берега на 102 км от устья, р. Левтыриновьям – в 114 км с этого же берега.



По генетической классификации россыпь относится к аллювиальной долинной и представляет единую однородную по строению и составу залежь, приуроченную к пойменной части долин. На месторождениях Сейнав-Гальмознанского горного узла практикуется открытая разработка. Глубина карьеров достигает 50 м. Для извлечения полезного компонента используют открытый раздельный способ разработки месторождения, включающий вскрышные работы, транспортировку и обогащение на промышленном приборе гравитационно-гидравлическим методом, который подразумевает использование силы тяжести для отделения искоемых (более тяжелых) фракций в ходе промывки горной породы водой. При этом для промывки организовано обратное водоснабжение [33].

Разработка локализована 5 участками (см. рис. 1), крупнейший из которых расположен в бассейнах р. Левтыриновьям и ручья Ольховый (участок № 1), остальные локализованы в пределах долин левых притоков р. Ветвей (№ 2 – в долине ручья Ветвистый и р. Янытайлыгиновьям, № 3 – в долине ручья Пенистый, № 4 – в долине ручья Ледяной, № 5 – в долине ручья Южный). Площадь разработки (нарушенных земель) в последние годы постоянно увеличивалась на всех участках, в 2008–2009 гг. объемы вскрыши резко упали, стала преобладать вторичная добыча платины путем повторной промывки уже отработанных отвалов, увеличение площади разработок практически завершилось, вместе с этим прекратился и прирост общей длины руслоотводных канав. В 2013 г. общая площадь нарушенных земель составила около 19 км². В пределах преобразованных горными работами долин созданы искусственные русла (руслоотводы), куда переброшен сток рек. Общая длина руслоотводов в реках высшей и первой рыбохозяйственных категорий в 2013 г. составила 30 700 м. Суммарная протяженность руслоотводов в пределах территорий разработки составляет 44 000 м.

Характеристика исходных данных и методика их получения. Разработка месторождения россыпной платины в пределах Сейнав-Гальмознанского горного узла, расположенного в бассейне р. Вывенка, ведется с 1994 г. Комплексные гидролого-ихтиологические исследования проводили ежегодно с 1994 г. в июле–августе на участках рек, расположенных выше (створы 1, 5), в пределах (створы 2, 6, 7) и ниже по течению (створы 3, 4, 8) от мест расположения разработок (см. рис. 1). По стандартным методикам [34] выполняли подробные гидрологические исследования, включавшие наблюдения за уровнем режимом, русловые съемки, измерения характеристик стока воды и содержания в ней минеральных взвесей. Массовые измерения мутности воды осуществляли с помощью оптических самописцев мутности (Nach 2100 P и Seba Checker-2). Для пересчета в значения весовой мутности была использована региональная зависимость: $SSC = -1,04 + 0,75T$, где SSC – мутность воды мг/л и T – оптическая мутность (turbidity, НТУ) [35].

Сбор и обработку количественных проб бентоса проводили по общепринятым методикам [36]. Численность взрослых рыб на участках реки, испытывающих техногенное воздействие, учитывали визуально в ходе аэровизуальных и пеших маршрутных учетов, молодь облавливали мальковым неводом размеров 10×2 м с ячейей 5–8 мм и сак-ловушкой.

Водотоки классифицировали по типу антропогенного воздействия. Участки рек, протекающие в пределах горных отводов, попадают в зону прямых нарушений условий формирования речных русел с искусственным изменением длины реки, формы поперечного сечения или изменения высоты базиса эрозии. Расположенные ниже участки рек и в целом речная сеть попадают в зону косвенных нарушений, вызванных в результате проведения горных работ на водосборе, приводящих к трансформации стока воды и наносов. Реки, протекающие выше разработок или являющиеся притоками нарушенных водотоков, отнесли к природному фону. Все результаты полевых работ были обобщены для 8 створов, расположенных по длине р. Левтыриновьям (створы 1–3), ручья Ольховый (створ 4), р. Янытайлыгиновьям (створ 5, 6), ручья Сентябрь (створ 7) и р. Ветвей (створ 8). Среди них створы 1 и 5 характеризуют природный фон, створы 2, 6 и 7 расположены в руслоотводах, створы 3, 4 и 8 – в зоне косвенного воздействия.

За период ведения мониторинга установлены техногенные изменения стока воды и наносов. Изменение химического состава вод в условиях аномальных фоновых концентраций многих элементов (Al, Cu, Fe, P и др.) достоверно не фиксировалось.

Оценка техногенного стока наносов. Проектное положение о замкнутом водоснабжении исключает сброс сточных вод в реки, однако из-за невозможности его соблюдения в условиях высокого дебита подземных вод в карьеры, несовершенства очистных систем (илоотстойников) и развития поверхностной и русловой эрозии, в реки поступает большое количество тонкодисперсного материала.

Суммарный сток наносов техногенного происхождения W_{mining} , формирующийся в пределах бассейнов, где ведется открытая разработка россыпной платины, меньше среднегодового стока рек наносов W

$$W = W_{\text{mining}} + W_{\text{natural}}, \quad (1)$$

где W_{natural} – годовой сток наносов с ненарушенной территории бассейна. В случае разработок россыпной платины в Корякии, где продолжительность горных работ ограничена летне-осенним периодом (в среднем $t = 212$ дней), итоговый сток наносов равен

$$W = 212 \cdot SL_{\text{mining}} + 365 \cdot SL_{\text{natural}}, \quad (2)$$

где SL_{mining} – суточный расход наносов техногенного происхождения (т/сут), SL_{natural} – суточный естественный расход наносов (т/сут), 365 – число дней в году.

Суммарный вклад всех источников поступления взвеси приводит к результирующему годовому стоку наносов W_{mining} (т/год)

$$W_{\text{mining}} = W_{\text{slope}} + W_{\text{waste}} + W_{\text{channel}} + W_{\text{eff}}, \quad (3)$$

где W_{slope} – сток взвешенных наносов, формирующийся за счет поверхностного смыва; W_{waste} – за счет перетоков из технологических водоемов; W_{channel} – за счет русловой эрозии по длине искусственных русел – руслоотводов. W_{eff} – определяется поступлением сбросов сточных вод из илоотстойников. Уравнение (3) может быть преобразовано к выражению суточных расходов наносов SL_{mining} (т/день)

$$SL_{\text{mining}} = SL_{\text{slope}} + SL_{\text{waste}} + SL_{\text{channel}} + SL_{\text{eff}}. \quad (4)$$

Указанные факторы отличаются по масштабам проявления. Русловая эрозия, связанная с интенсификацией вертикальных и горизонтальных деформаций в руслоотводах из-за спрямления естественного русла [18], и поступление сточных вод в реки за счет фильтрации и сбросов определяются режимом работы участка добычи и относительно постоянны в течение каждого сезона добычи. Вместе с естественными (фоновыми процессами) поступления твердого материала в ненарушенной части водосбора они образуют минимальную техногенную мутность воды SSC_{techn} в реках, протекающих через/вдоль участков добычи

$$SSC_{\text{techn}} = SSC_{\text{waste}} + SSC_{\text{channel}} + SSC_{\text{eff}} + SSC_{\text{natural}}. \quad (5)$$

В целом величина SSC_{techn} демонстрирует устойчивую зависимость от площади разработок и длины руслоотводов и для р. Левтыриновьям (участок № 1, створ 3) аппроксимируется уравнением $SSC_{\text{techn}} = 2 \cdot 10^{-6} F_{\text{mining}}^{5,9}$, где F_{mining} – площадь нарушенных земель. Ее эмпирическая оценка позволила рассчитать годовой сток наносов природного происхождения и связанного с поступлением материала при размыве руслоотводов и поступления сточных вод для створов, расположенных ниже участков добычи (створы 3, 4, 8)

$$W_{\text{natural}} + W_{\text{waste}} + W_{\text{channel}} + W_{\text{eff}} = SSC_{\text{techn}} Q_0 \cdot 31,5 \cdot 10^6, \quad (6)$$

где Q_0 – среднегодовой расход воды, м³/с; $31,5 \cdot 10^6$ – число секунд в году.

Поверхностный смыв (W_{slope}) формируется под влиянием снеготаяния и дождевых осадков. Масса выноса твердого материала m определяется для каждого периода выпадения осадков как

$$m = \int R \Delta t, \quad (7)$$

где R – расход взвешенных наносов в период выпадения осадков; Δt – продолжительность осадков определенной интенсивности, т. е. как площадь

фигуры, ограниченной сверху кривой изменения расхода взвешенных наносов в период осадков, а снизу – линией расхода взвешенных наносов при минимальной техногенной мутности. С учетом количества твердого материала, поступающего в речную сеть в период выпадения осадков различной интенсивности, а также площадей водосборов руслоотводов, модуль поверхностного смыва M_{slope} может быть рассчитан как

$$M_{\text{slope}} = \frac{m}{F_i}, \quad (8)$$

где F_i – площадь водосбора руслоотвода. Поскольку рассматриваются осадки суточной интенсивности, то и расчетный модуль поверхностного смыва имеет размерность т/м²·сут.

Суммарный годовой объем поступления твердого материала в руслоотводы за счет поверхностного смыва вычисляется как

$$W_{\text{slope}} = \sum (M_{\text{slope}i} \cdot P_{Xi}) \cdot F_i, \quad (9)$$

где W_{slope} – объем годового смыва твердого материала за счет поверхностного смыва, т/год; P_{Xi} – повторяемость осадков различной интенсивности в период ведения разработки, число дней (принято по метеостанции с. Корф, табл. 2).

На основе обобщения результатов расчленения седиграфов (табл. 3) и расчетов по формулам (7) – (9) за разные годы была получена региональная эмпирическая формула, связывающая годовой объем стока наносов W_{slope} , формирующийся за счет склоновой эрозии (slope), и площадь нарушенных земель F_{mining}

$$W_{\text{slope}} = 68,9 \ln(F_{\text{mining}}) + 41,6. \quad (10)$$

Для замыкающих створов, расположенных ниже участков добычи (3, 4 и 8), оценивали годовой сток наносов в период выпадения осадков (10) и

Таблица 2. Повторяемость осадков различной интенсивности в период ведения разработки на метеостанции с. Корф

Интенсивность осадков, мм/сут	Повторяемость за период ведения разработки (28 марта – 25 октября)
25–50	30
10–25	16
1–10	31

Таблица 3. Максимальные и минимальные измеренные мутности и расходы воды в период 2003–2012 гг. и соответствующие значения стока наносов SL

Створ	Описание	Значение	SSC , мг/л	Q , м ³ /с	SL , т/сут.	Дата	Q_0 , м ³ /с
Участок № 1 (р. Левтыринываям)							
1	р. Левтыринываям, выше разработок	Max	0,8	1,32	0,09	05.06.2007	0,6
		Min	0,4	0,54	0,02	30.07.2003	
2	р. Левтыринываям, руслоотвод	Max	80	6,19	42,8	10.06.2011	1,0
		Min	4,7	0,65	0,3	17.08.2005	
3	р. Левтыринываям, ниже разработок	Max	130	6,29	70,6	10.06.2011	1,1
		Min	1,1	0,2	0,02	30.07.2003	
4	ручей Ольховый, ниже разработок	Max	2689	0,62	144,0	20.08.2009	0,27
		Min	628	0,87	47,2	16.07.2010	
Участки № 2, 3, 4, 5 (бассейн р. Ветвей)							
5	р. Янытайлыгинваям, выше разработок	Max	3,5	8,12	2,5	11.06.2011	3
		Min	1,56	1,3	0,2	12.08.2004	
6	р. Янытайлыгинваям, руслоотвод	Max	627	8,12	439,9	26.07.2006	4
		Min	35	2,52	7,6	20.08.2005	
7	ручей Сентябрь, руслоотвод	Max	566	2,84	138,9	13.06.2011	0,04
		Min	2,1	0,3	0,1	24.08.2009	
8	р. Ветвей, ниже разработок	Max	30	68	176,3	02.06.2007	12,4
		Min	2,5	26,9	5,8	14.08.2004	

Примечание: SSC – измеренная мутность воды; Q – измеренный расход воды; SL – суточный сток взвешенных наносов; Q_0 – среднегодовой расход воды (расходы воды по данным [37]).

без него (6). В качестве исходных данных использовали информацию о площади нарушенных земель и натурных ежегодных данных о минимальной техногенной мутности в реках. Суммарный объем поступления с территорий бассейнов, находящихся в зоне воздействия, рассматривали как сумму частных объемов стока рек Левтыринываям, Ветвей и ручья Ольховый.

Оценка техногенного изменения водного стока. Малый размер рек, в долинах которых осуществляется добыча россыпной платины, приводит к расположению карьеров непосредственно возле руслоотводов, что определяет существенную фильтрацию стока. Изменение водного стока оценивали на основе уравнения руслового водного баланса

$$Q_v - Q_n + Q_{\text{бп}} - Q_{\text{вз}} + Q_{\text{вс}} \pm Q_{\text{рр}} \pm \Delta Q = 0, \quad (11)$$

где Q_v и Q_n – расходы воды в верхнем и нижнем створах разработки соответственно. В приходные составляющие этого уравнения входят: $Q_{\text{бп}}$ – боковой приток, $Q_{\text{вс}}$ – сбросные воды; в расходные: $Q_{\text{вз}}$ – водозаборы. Результирующие элементы включают $\pm Q_{\text{рр}}$ – русловое регулирование; $\pm \Delta Q$ – изменение водности

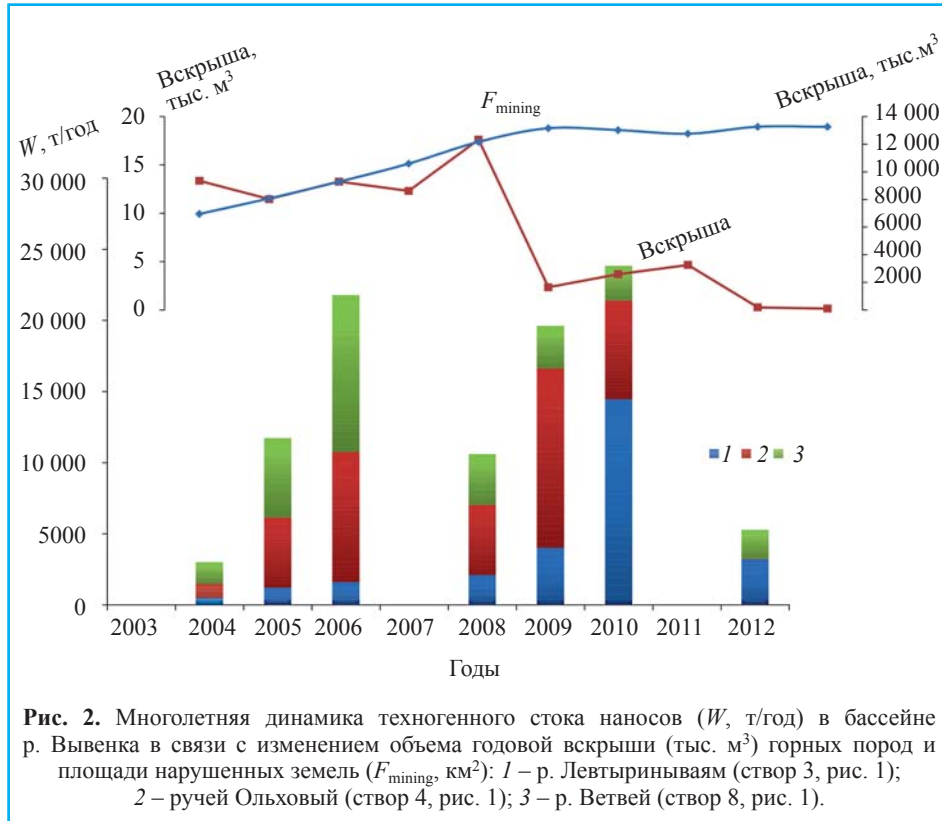
реки, связанное с подземными водами (знак плюс отвечает условиям инфильтрации руслового стока, минус – условиям питания реки подземными водами).

Изменение величины Q_n по сравнению с фоновыми значениями связано с забором воды для технологических целей $Q_{вз}$ и сбросом сточных вод $Q_{сб}$. Часто даже в условиях оборотного водоснабжения, практикуемого на разработках, водозабор осуществляется для обеспечения коммунально-бытовых нужд (водоснабжение вахтовых поселков и др.). При расположении разработок в непосредственной близости от речных русел (особенно на малых реках) изменения водного стока связаны с величиной $\pm\Delta Q$. По мере роста разработок все большая часть грунтовых вод дренируется в карьеры, поэтому доля подземного питания рек падает. Экологический сток был установлен для рек по методике [2, 11]. Исходные данные для расчетов основаны на расчетных данных водного стока рек территории [37].

Результаты и обсуждение

В водотоках района разработок россыпной платины максимальные значения мутности с 2004 г. фиксировали в ручье Ольховый, где она превышала 100 мг/л, а в 2008–2011 гг. постоянно составляла не менее 2000–3000 мг/л. Уже в первый год формирования таких высоких значений мутности из ручья полностью ушла вся рыба. Для бассейнов рек Ветвей и Левтыриновым негативные тенденции в рыбном сообществе впервые стали отмечаться в 2006 г., когда минимальная мутность воды в межень стала превышать 10 мг/л, при этом зафиксированные максимальные значения составляли до 800 мг/л в период аварийных сбросов – при проведении горных работ в руслах рек (табл. 3). Несомненно, воздействие на состояние сообществ оказывали и другие процессы, в частности, уменьшение водности рек и механическое уничтожение нерестилищ при создании руслоотводов.

Многолетняя динамика поступления взвешенных веществ в речную систему (рис. 2) свидетельствует о том, что воздействие определяется объемом горных работ (вскрышей и площадью нарушенных земель). На фоне относительно стабильного суммарного увеличения площади нарушенных земель вплоть до 2008–2009 гг. локальные особенности ведения горных работ на отдельных участках определяли итоговый объем поступления взвешенного материала. Пик выноса материала в речную систему 2006 г. был приурочен к вводу в эксплуатацию новых участков (№ 2 и 5) и в этой связи активным приращением новых руслоотводов и интенсификацией русловых деформаций. В результате в этот период наблюдались самые высокие значения стока наносов в системе р. Ветвей. Увеличение воздействия в 2009 г. было связано с самыми высокими сбросами сточных вод в ручей Ольховый и одновременно максимальной за период наблюде-



ний (40 мг/л) постоянной мутностью в р. Левтыринываям. Это объясняется последствиями самых высоких объемов вскрыши торфов и промывки песков, наблюдавшихся на территории участка № 1 и в целом в пределах разработок россыпной платины в 2008–2009 гг.

По мере увеличения мутности воды происходило снижение количества заходов лососей в эти реки, постепенно исчезала их молодь. В результате к 2011 г. при постоянном содержании взвесей 40–50 мг/л в р. Левтыринываям отмечались лишь единичные экземпляры лососевых рыб. Сопоставление этих результатов с уже известными данными (см. табл. 1) подтверждает, что опасные для экосистем лососевых рек значения мутности воды фиксируются при хроническом воздействии мутности, превышающем порог в 25–35 мг/л. В этой связи при создании норматива предельно допустимого воздействия для рек Камчатского края с низкой фоновой мутностью (реки «лососевого комплекса») критическое значение загрязнения, устойчивое превышение которого приводит к негативным последствиям для лососевых рыб, было установлено для мутности воды в диапазоне $S_{\text{ндв}}$ от 25 до 35 мг/л. При этом могут допускаться кратковременные повышения мутности воды

выше этих значений. Предельно допустимые величины годового стока наносов $W_{\text{ндв}}$ рассчитаны по формуле

$$W_{\text{ндв}} = S_{\text{ндв}} Q_0 = 25 Q_0, \quad (12)$$

где Q_0 – среднегодовой расход воды (табл. 3). $W_{\text{ндв}}$ составило для р. Ветвей (створ 8) 13 938 т/год, для р. Левтыринываям (створ 3) – 2370 т/год, ручей Ольховый (створ 4) – 236 т/год. Суммарный допустимый годовой вынос взвешенных наносов реками территорий разработок россыпной платины составляет 16 545 т/год, превышение которого создает риск возникновения необратимых негативных изменений в экологической системе водного объекта, т.е. недопустимо согласно [2].

Последствия поступления взвешенных веществ диагностировали и в сообществе макрозообентоса участка р. Левтыринываям ниже разработок россыпной платины (створ 3, рис. 1). Тенденция к сокращению общей численности и биомассы макрозообентоса прослеживалась на протяжении всех лет ведения разработки (рис. 3). По мере накопления мелкофракционных осадков на дне и увеличения мутности биомасса макрозообентоса в нижнем течении реки устойчиво сокращалась: 1995, 1997, 2002, 2004, 2005 и 2011 гг. – 23,3; 22,0; 12,3; 8,6; 3 и 0,24 г/м² соответственно. В 2011 г. численность макрозообентоса составила аномально низкое значение – 0,12 тыс. экз/м² против 17,3;

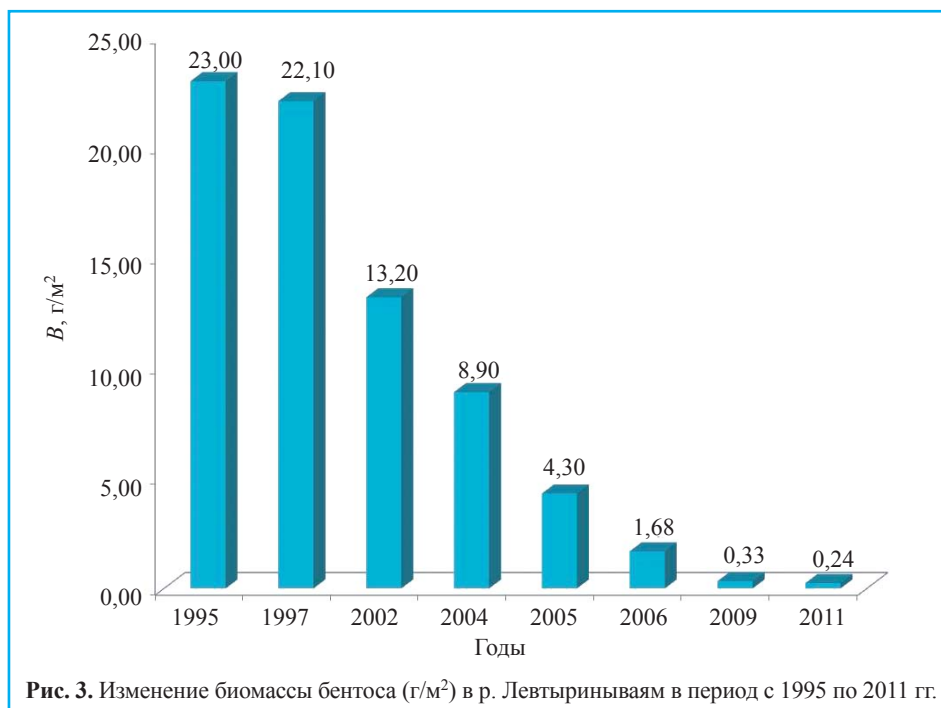


Таблица 4. Видовой состав и количественные характеристики бентоса в р. Левтыриновьям ниже разработок россыпной платины 10 июля 2011 г.

Таксоны	Численность Ч, экз/м ²	Биомасса В, г/м ²
Ephemeroptera (поденки)		
<i>Ameletus sp.</i>	32	0,11
<i>Baetis sp.</i>	32	0,04
Plecoptera (веснянки)		
Taeniopterygidae indet.	16	0,02
Perlodidae indet.	16	0,05
Chironomidae (хируномиды)		
<i>Microsectragr praecox</i>	16	0,01
<i>Hydrobaenus fusistylus</i>	16	0,01
Итого	128	0,24

14,8; 6,6; 5,9 и 4,0 тыс. экз/м² в предыдущие годы наблюдений на этой же станции. В 2006 г. зообентос р. Левтыриновьям ниже разработок значительно уступал по разнообразию и количественно аналогичным фоновым биотопам, находящимся вне зоны воздействия. На песчаном и галечном дне в верховьях реки были учтены 24 и 28 таксонов беспозвоночных, их численность и биомасса составляют 6–15 тыс. экз/м² и 5,12–12 г/м² соответственно. В сходных биотопах ниже по течению все показатели уменьшаются: число таксонов до 19 и 22, численность – до 3–4 тыс. экз/м² и биомасса – 1,1–2,7 г/м². К 2011 г. бентофауна исследуемого участка реки включала всего 2 вида хируномид (против 4 в 2008 и 3 в 2009 г.), были встречены также по 2 вида веснянок и поденков (табл. 4).

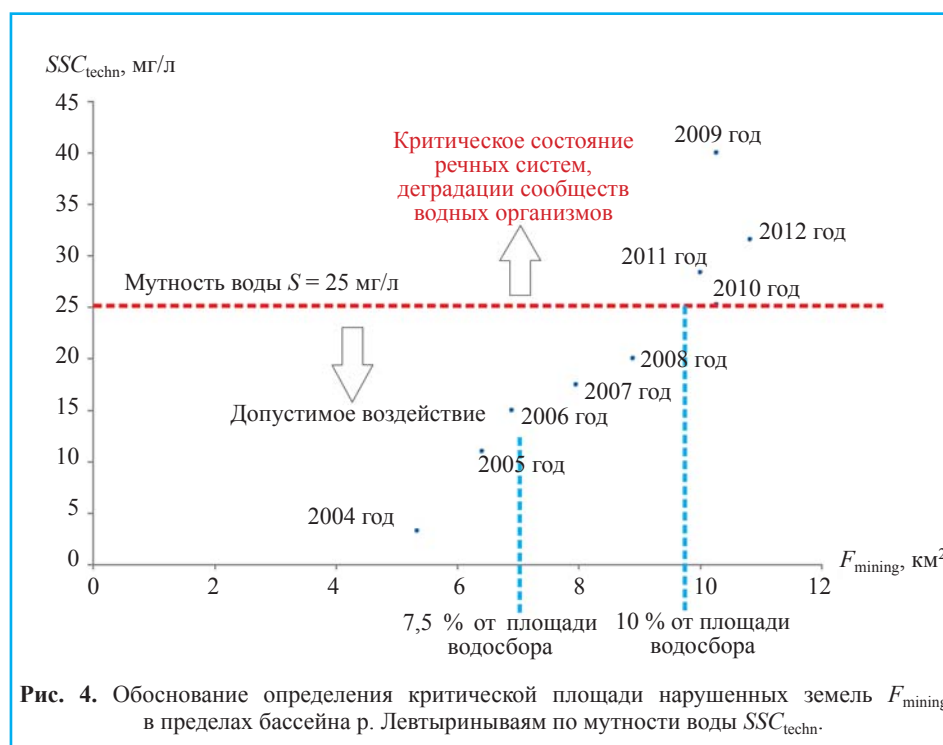
В условиях отсутствия прямых заборов воды изменение водного стока не имело прямой связи с трансформацией сообществ водных организмов. На р. Левтыриновьям (участок № 1) из-за существенного перепада отметок дна реки и карьера (свыше 40 м) суммарные потери поверхностного стока достигали 60–70 % межени расхода, в пределах расположения карьеров градиент уменьшения водности – 0,05 м³/с·км в руслоотводной канаве и 0,1 м³/с·км в естественном русле. В период межени наблюдались максимальные относительные потери стока ΔQ , зависящие от притока воды к разработкам Q_B

$$\Delta Q = 43,7 Q_B^{-0,3}. \quad (13)$$

Для р. Левтыриновьям величина экологически допустимых расходов воды составляет 0,4 м³/с. Для ручьев Ледяной и Сентябрь она значительно

меньше – $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$. За период наблюдений снижение расходов воды ниже экологически допустимых значений в р. Левтыриновьям (створ 3) наблюдалось лишь однажды (август 2003 г.) и составило от 8 до 20 %. В последующие годы, несмотря на увеличение карьеров и усиление фильтрации поверхностного стока, экологический сток не нарушался, что объясняется большей водностью реки $Q_{\text{в}}$ в эти годы по сравнению с 2003 г. На ручье Ледяном экологический сток с 2003 г. не соблюдался 2 раза – в 2003 и 2009 г., когда ручей полностью пересыхал. Однако в этом случае следует иметь в виду, что сток ручья Ледяной до разработок в естественных условиях пересыхал (возможно, не каждый год) в летнюю межень.

Таким образом, устойчивую связь с изменением состояния сообществ водных организмов в условиях воздействия от открытых разработок россыпей демонстрирует поступление взвешенных веществ в реки. Для р. Левтыриновьям формирование техногенной мутности воды SSC_{techn} (6) и стока наносов W (1) характеризуется зависимостью от площади нарушенных земель F_{mining} (рис. 4). С учетом полученных соотношений величина 10 % нарушенных земель от площади водосбора, рассчитанной по нижней границе разработки, является критической для загрязнения данной реки твердым материалом.



Долины малых ручьев характеризуются большей чувствительностью к антропогенным воздействиям. В результате уже при небольших площадях нарушенных земель (3–5 % от площади водосбора ручьев Сентябрь, Ветвистый и Пенистый) (участки № 2–5) наблюдались высокие объемы поступления взвеси, когда SSC_{techn} превышала допустимые уровни. Формирование высокого смыва с поверхности разработок, существенное воздействие технических работ (переезды техники через броды и др.), характеристики вскрываемых грунтов значительно влияют на суммарный сток наносов, который на протяжении всех лет ведения разработок в пределах указанных ручьев был выше допустимых значений. В результате сток наносов превышал критические значения для этих ручьев, что привело к деградации сообществ этих водотоков.

Заключение

Нормирование воздействия на речные системы от открытых разработок полезных ископаемых проводится по ключевым гидрологическим и гидрохимическим характеристикам с учетом региональных природных (фоновых) условий и особенностей сообществ водных организмов. При открытой добыче россыпной платины в речных долинах основным фактором воздействия является поступление минеральных частиц. Динамика водного стока не обнаруживает связи с интенсивностью хозяйственной деятельности и не может быть использована для ее нормирования. В реках лососевого комплекса Дальнего Востока, отличающихся низкими фоновыми значениями мутности, деградация сообществ наблюдается при систематическом превышении мутности воды 25–35 мг/л. Зависимость объемов поступления взвеси от площади разработок может использоваться для нормирования горнодобывающей деятельности в речных долинах малых рек. Для исследуемого района работ рекомендуемый норматив предполагает отторжение земель под горные работы не более 10 % водосбора малых рек и не более 5 % водосборов водотоков меньшего размера (ручьи). Динамика водного стока не обнаруживает связи с интенсивностью хозяйственной деятельности и не может быть использована для ее нормирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водный Кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ, в ред. от 28.12.2013.
2. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. приказом МПР России 12 декабря 2007 г. № 328, зарег. в Минюсте России 23.01.2008, рег. № 10974.
3. Гагарина О.В. Проблемы нормативного обеспечения разработки и установления нормативов допустимого воздействия на водные объекты // Вестник Удмуртского университета. 2010. № 6(1). С. 20–26.
4. Кузьмич В.Н. О проблемах разработки нормативов допустимого воздействия на водные объекты // Водное хозяйство России. 2009. № 3. С. 95–105.

5. Марченко А.А. Проблемы разработки СКИОВО и НДВ и некоторые пути их решения // Водное хозяйство России. 2009. № 3. С. 6–16.
6. Носаль А.П., Шубарина А.С., Логинова Т.В., Тарасенко Т.Г. Разработка нормативов допустимого воздействия на примере бассейна реки Вятки в пределах Кировской области // Водное хозяйство России. 2010. № 6. 18–35.
7. Алексеевский Н.И., Жук В.А., Заславская М.Б., Фролова Н.Л. Влияние добычи золота на изменение потоков вещества в долинах малых рек бассейна Олекмы // Малые реки России. М.: ИГ РАН, 1994. С. 206–208.
8. Махинов А.Н., Махинова А.Ф., Шевцов М.Н. Влияние горнообогатительных предприятий Хабаровского края на окружающую среду // Горный журнал. 2006. № 4. С. 83–86.
9. Macklin M.G., Brewer P.A., Hudson-Edwards K.A., Bird G., Coulthard T.J., Dennis I.A., Lechler P.J., Miller J.R., Turner J.N. A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining // Geomorphology. 2006. V. 79. P. 423–447.
10. Дубинина В.Г., Косолапов А.Е., Коронкевич Н.И., Чебанов М.С., Скачедуб Е.А. Методические походы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) // Водное хозяйство России. 2009. № 3. С. 26–16.
11. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Минск: ЭКОИНВЕСТ, 1996. 240 с.
12. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. М.: ВНИРО, 2011. 257 с.
13. Методические указания по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утв. приказом Росрыболовства № 695 от 04.08.2009.
14. Баготский С.В., Санин М.В., Эйнон Л.О. Некоторые подходы к экологически обоснованному нормированию загрязняющих веществ в водоемах // Водные ресурсы. 1992. № 6. С. 101–106.
15. Шаранов Н.М. О концепции разработки региональных нормативов допустимых воздействий на природные водные объекты // Вестник Читинского гос. ун-та. 2010. № 7 (64). С. 114–120.
16. Гаращенко Ю.А. Стратегия развития и использования минерально-сырьевой базы Камчатского края // Экология, экономика и природопользование. 2006. С. 31–41.
17. Леман В.Н., Упрямов В.Е., Чебанова В.В. Экологические проблемы добычи россыпного и рудного золота в бассейнах лососевых нерестовых рек Камчатки // Проблемы охраны и рационального использования биоресурсов Камчатки. Доклады второй Камчатской научно-практ. конф. Петропавловск-Камчатский. 2000. С. 49–60.
18. Чалов С.Р., Чебанова В.В., Леман В.Н., Песков К.А. Техногенные изменения русла малой лососевой реки и их влияние на сообщество макрозообентоса и лососевых рыб (юго-восточные отроги Корякского нагорья) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 3. Владивосток: Дальнаука, 2005. С. 36–48.
19. Леванидов В.Я. Экосистемы лососевых рек Дальнего Востока // Беспозвоночные животные в экосистемах лососевых рек Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 3–21.
20. Lloyd D.S., Koenings J.P., LaPerriere J.D. Effects of turbidity in fresh waters of Alaska // N. Am. J. of Fisheries Manag. 1987. V. 7. P. 18–33.
21. Servizi J.A., Martens D.W. Sublethal responses of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) to suspended sediments // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1992. V. 49. P. 1389–1395.
22. Carol D.W., Naden P.S., Cooper D.M., Gannon B. A regional procedure to assess the risk to fish from sediment pollution in rivers // IAHS Publ. 2002. V. 272. P. 401–407.
23. Зюсько А.Я., Русанов В.В. Состояние популяций хариуса в районах проведения горных работ // Экологическая обусловленность фенотипа рыб и структура их популяции, под ред. Л.А. Добринской. М.: АН СССР, 1989. С. 125–128.

24. *Herbert D.W.M., Richards J.M.* The growth and survival of fish in some suspensions of solids of industrial origin // *Int. J. Air Wat. Poll.* V. 7. 1963. P. 297–302.
25. Чалов С.Р. Речные наносы в формировании биоценозов лососевых рек // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 5. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 571–579.
26. Чалов С.Р., Есин Е.В., Айзель Г.В. Гидрологические факторы формирования ихтиофауны рек вулканических территорий (на примере рек Семлячинского района, Камчатка) // *Водные ресурсы.* 2014. Т. 41. № 2. С. 1–11.
27. *Reynolds J.B., Simmons R.C., Burkholder A.R.* Effects of placer mining discharge on health and food habits of Arctic Grayling // *Water Resources.* 1988. Bull. 25. P. 625–635.
28. *Stober Q.J., Ross B.D., Melby C.L., Dimmel P.A., Jagielo T.H., Salo E.O.* Effects of suspended volcanic sediment on Coho and Chinook Salmon in the Toule and Cowlitz rivers In Seattle // *Technical Completion Report. FRI-UW-8124*, 1981. Fish. Res. Inst., Univ. of Washington, Seattle. 147 p.
29. *Newcomb T.W., Flagg T.A.* Some effects of Mount St. Helens ash on juvenile salmon smolts // *US National Marine Fisheries Service Review.* 1983. Report No. 45. P. 8–12.
30. *Lake R.G., Hinch S.G.* Acute effects of suspended sediment angularity on juvenile Coho salmon // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999. V. 56. P. 862–867.
31. *Slaney P.A., Halsey T.G., Tautz A.F.* Effect of forest harvesting practices on spawning habitats of stream salmonids in the Centennial Creek watershed in Vancouver. Effects of forest harvesting practices on spawning habitat of stream salmonids in the Centennial Creek watershed, British Columbia // *Province of British Columbia, Ministry of Recreation and Conservation, Fisheries Management Report No. 73.* 1977. 45 p.
32. Селезнева А.В. От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2007. 105 с.
33. Проект промышленной разработки месторождения платины нижнего пласта россыпи руч. Ледяной. ЗАО «Корякгеолдобыча». 2010. 74 с.
34. *Васильев А.В., Шмидт С.В.* Водно-технические изыскания Л.: Гидрометеиздат, 1978. 367 с.
35. Белозерова Е.В., Чалов С.Р. Определение содержания взвешенных частиц в речных водах оптическими методами // *Вестник Московского университета. Серия 5. География.* 2013. No. 6. С. 39–45.
36. Тиунова Т. М. Методы сбора и первичной обработки количественных проб // *Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России.* Москва: ВНИРО. 2003. С. 5–13.
37. *Куксина Л.В., Чалов С.Р., Подлас А.В.* Определение экологического стока на реках районов разработок россыпных месторождений (на примере водотоков Корякского нагорья) // *Водные ресурсы.* 2014. № 3. В печати.

Сведения об авторах:

Чалов Сергей Романович, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, кафедра гидрологии суши, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова; e-mail: ar55@yandex.ru; лаборатория воспроизводства лососевых рыб, ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО). 119571, Москва, ул. 26 Бакинских комиссаров, 1-2-37; e-mail: srchalov@rambler.ru

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