

УДК [550.46+556.51]: 519.85

МОДЕЛЬ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И ОЦЕНКА СРЕДНЕМНОГОЛЕТНЕГО ВЫНОСА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ДАННЫМ ЕДИНИЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2013 Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Поступила в редакцию 29.04.2013

На примере рек Алтае-Саянской горной страны с помощью системно-аналитического моделирования разработана универсальная имитационная модель стока взвешенных веществ. Модель позволяет рассчитать сезонную и многолетнюю динамику стока для произвольно выбранных речных бассейнов, используя лишь картографические данные о ландшафтной структуре и орографии бассейнов, а также территориально обобщенные среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки, выражаемые в процентах от их среднееголетних значений. Предложен метод расчета среднееголетнего выноса тяжелых металлов во взвешенной форме реками Алтая в периоды весенне-летнего половодья и летней межени. Для этого используются расчетные среднееголетние концентрации взвешенного вещества, расчетные среднееголетние значения водного стока и данные наблюдений по микроэлементному составу речных взвесей.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, взвешенные вещества, сток, моделирование, горные реки, Алтай*

Повсеместно возрастающий дефицит пресных вод и проблемы качества водных ресурсов требуют всестороннего изучения процессов, определяющих формирование водного и гидрохимического стока рек. Эти же проблемы актуальны и для Алтае-Саянской горной страны, где берут начало две из десяти крупнейших рек мира – Обь и Енисей. Серьезное внимание исследованиям взаимообусловленности гидрохимического и водного режимов горных рек уделяется уже давно [1, 2]. В то же время связям водного и гидрохимического стока горных рек с ландшафтной структурой территории посвящено относительно небольшое количество работ, например, касающихся времени добегания водного стока [3-5]. Несмотря на то, что главной особенностью формирования стока малых рек является их тесная связь с ландшафтом бассейна, для изучаемого региона проведено очень мало исследований [6], в отличие, например, от бассейна Средней Оби [7-9]. И наконец, вообще отсутствуют прикладные универсальные модели, описывающие формирование гидрохимического стока горных рек

в зависимости от климатических, орографических, геологических и ландшафтных характеристик бассейнов.

Формирование физико-химического состава поверхностных вод обусловлено всей совокупностью физических, химических и биологических процессов на водосборе. Речные воды необходимо рассматривать как сложные растворы, содержащие дисперсные взвеси и соединения, находящиеся в растворенном состоянии. Согласно В.В. Добровольскому [10] вынос тонкодисперсного вещества реками в 4 раза больше, чем растворимых соединений.

Цель работы: на основе разработанной модели стока взвешенных веществ и натуральных данных по химическому составу речных взвесей оценить среднееголетнюю величину стока тяжелых металлов в форме взвешенных соединений на примере рек различных физико-географических провинций Алтая. При этом требуется учесть особенности ландшафтной структуры речных бассейнов.

В работе предлагается универсальная имитационная модель стока взвешенных веществ (ВВ) и основанный на этой модели метод, обеспечивающий оценку среднееголетнего стока тяжелых металлов горными реками по данным единичных наблюдений за последним. Рассматриваются весенне-летнее половодье и летняя межень – периоды, когда биогеохимические процессы на водосборе максимально выражены.

Метод отбора проб и анализа содержания в них металлов. Для проведения натуральных

Кирста Юрий Богданович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник. E-mail: kirsta@iwep.ru

Пузанов Александр Васильевич, доктор биологических наук, заместитель директора. E-mail: ruzanov@iwep.ru

Бабошкина Светлана Вадимовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник. E-mail: svetlana@iwep.ru

исследований нами были выбраны малые и средние реки Северной, Северо-Западной и Северо-Восточной провинций Алтая [11]: р. Майма (Северный Алтай), рр. Чарыш и Песчаная (Северо-Западный Алтай), р. Чульшман (восточная часть Северо-Восточной Алтайской провинция). Отбор проб поверхностных вод рек различных физико-географических провинций Алтая проводился в устьевой части рек в весенне-летнее половодье (апрель 2010 г.) и летнюю межень (июль 2007 г.). Пробы отбирались согласно ГОСТ 17.1.5.01-80; ГОСТ 17.1.5.05-85; ГОСТ Р 51592-2000 в чистую полиэтиленовую посуду, фильтровались через мембранный фильтр и консервировались HNO_3 (2 мл на 0,5 л) согласно методике [12]. Взвешивание фильтров осуществлялось на аналитических весах. Определение содержания микроэлементов (As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb, Cr, Co, V) выполнено в химико-аналитическом центре Института водных и экологических проблем СО РАН методом атомно-абсорбционной спектроскопии с применением электротермической атомизации на приборе SOLAAR M-6.

Имитационная математическая модель стока взвешенных веществ. Разнообразные природно-климатические условия Алтае-Саянской горной страны обуславливают большие различия в формировании гидрохимического стока рек, включая сток ВВ. Выделение и анализ влияния на сток ВВ каждого стокоформирующего фактора по отдельности здесь крайне затруднено. Кроме того, недостаточность данных о гидрологических и гидрохимических процессах в бассейнах горных рек часто создает неразрешимые проблемы при разработке математических моделей стока.

С целью системно-аналитического моделирования (САМ) [13, 14] непосредственно стока ВВ были выбраны 33 речных бассейна Алтае-Саянской горной страны, для которых ранее была разработана модель водного стока [15]. Были взяты данные по четырем характерным гидрологическим периодам/сезонам: первый (зимняя межень, XII-III месяцы), второй (весенне-летнее половодье, IV-VI), третий (летняя межень, VII-VIII), четвертый (осенняя межень с возможными паводками при сильных дождях, IX-XI). Для учета ландшафтной структуры речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны была выполнена типизация ландшафтных выделов, отражающая условия формирования гидрологического и гидрохимического речных стоков, в том числе высотно-поясную и структурно-ярусную неоднородность территории [16]. Всего выделено 13 типологических групп геосистем, для каждой из которых по имитационной модели водного стока горных рек были рассчитаны формируемые ими вклады в речной сток [15].

Основу САМ составляет определение структуры и параметров имитационной модели через решение обратной задачи оптимизационными методами (подробнее см. [13-15]). Путем последовательной проверки различных физических и гидрохимически непротиворечивых уравнений, описывающих формирование стока ВВ под воздействием факторов среды, определяется система уравнений, дающая наименьшую квадратичную невязку между рассчитанными и наблюдаемыми концентрациями ВВ. Для математического описания зависимостей процессов от факторов среды в САМ применяется универсальная функция H , задаваемая выражением:

$$H(X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2, X) = \begin{cases} Y_1 + Z_1(X - X_1), & \text{если } X < X_1 \\ \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}(X - X_1) + Y_1, & \text{если } X_1 \leq X < X_2, \\ Y_2 + Z_2(X - X_2), & \text{если } X \geq X_2 \end{cases} \quad (1)$$

где $X_1, X_2, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2$ – параметры; X – какая-либо переменная модели. Функция H является непрерывной кусочно-линейной функцией из трех произвольных линейных фрагментов. Она может использоваться для аппроксимации совершенно различных зависимостей между переменными путем изменения значений ее параметров в (1).

В результате САМ найдены имитационные уравнения, обеспечивающие наименьшую квадратичную невязку между расчетными и наблюдаемыми концентрациями ВВ в водном стоке для 33 анализируемых речных бассейнов [17]. Учитываются сезонные осадки, средний поперечный уклон и ландшафтная структура бассейнов. Уравнения стока ВВ имеют вид:

$$Q^i \times C^i = \sum_k a_k \times Q_k^i \times H(c_1, c_1, 1, 1, c_2, c_3, P) \times H(c_4, c_4, 1, 1, c_5, c_6, K^i) + b \times q^i \quad (2)$$

где $Q^i \times C^i$ – сток ВВ; Q^i – расчетный среднесезонный водный сток для замыкающего створа бассейна с номером $i=1-33$ в текущем году [15];

C^i – наблюдаемые концентрации ВВ в речном стоке; P – обобщенные по территории Алтае-Саянской горной страны нормированные осадки

[18] за IX–XI месяцы предшествующего года для 1-го сезона или за IV–VI, VII–VIII, IX–XI месяцы для 2, 3, 4-го сезонов соответственно; a_k – параметры, отвечающие постоянной среднесезонной концентрации ВВ в расчетном среднесезонном водном стоке Q_k^i , формируемом k -ой группой геосистем за счет осадков P , $k=1-13$ [15]; b – параметр, условно отвечающий постоянной среднесезонной концентрации ВВ в расчетном приходящем (или, наоборот, уходящем) среднесезонном подземном водном стоке q^i , который формируется в бассейне i почвенно-грунтовыми водами и водами зон трещиноватых пород; K^i – средний поперечный уклон бассейна i ; H – кусочно-линейная функция (2); c_{1-6} – параметры, отражающие влияние на сток ВВ осадков P и уклона K^i . Вклад $b \times q^i$ в (3) учитывает как концентрацию ВВ в подземных водах, так и эффект осаждения или, наоборот, повторного взвешивания ВВ из донных отложений. Рассчитываемое по модели водного стока [15] значение q^i включает вклад осадков предыдущего сезона и обмен влагой с почвенно-грунтовыми водами и водами зон трещиноватых пород. Вместе с моделью

водного стока для рек Алтае-Саянской горной страны полученные уравнения (2) составляют полную имитационную модель стока ВВ.

Найденные в ходе САМ постоянные среднесезонные концентрации ВВ в водных стоках от каждой из 13 групп геосистем Алтае-Саянской горной страны получены как значения параметров a_k в (2) при решении обратной задачи по 1390 среднесезонным концентрациям ВВ, наблюдаемым на 33 замыкающих речные бассейны створах. Для определения всех значений концентраций ВВ с помощью САМ фактически использована неявная информация длинных рядов данных о концентрациях ВВ, на которые влияла ландшафтная структура речных бассейнов. Зная относительные площади распространения на территории водосбора каждой группы геосистем в процентах и имея данные наблюдений по водному стоку за 1–2 года, по уравнению (2) можно рассчитать среднемноголетние концентрации и сток ВВ по гидрологическим сезонам для любой горной реки. Результаты расчетов среднемноголетних концентраций ВВ для выбранных нами рек Алтая представлены в табл. 1.

Таблица 1. Расчетная среднемноголетняя концентрация ВВ (мг/л) в реках Алтая в зависимости от ландшафтной структуры речных бассейнов за период весенне-летнего половодья (ВП) и летней межени (ЛМ)

Река (створ)	Относительная площадь основных групп геосистем (в процентах от общей площади речного бассейна)				Расчетная концентрация ВВ	
	альпийские ¹	лесные ²	лесостепные ³	степные ⁴	ВП	ЛМ
р. Чулышман (с. Балыкча)	37	37	3	-	8,8	16,3
р. Майма (с. Майма)	-	83	9	-	13,8	35,0
р. Песчаная (с. Точильное)	-	52	27	8	21,2	76,8
р. Чарыш, (свх. Чарышский)	7	29	32	20	24,7	98,2

Примечание: ¹ – гольцово-альпинотипные высоко- и среднегорные; ² – высоко-, средне- и низкоронные; ³ – экспозиционно-лесостепные, лесостепные и степные высоко-, средне- и низкоронные; ⁴ – степные и лесостепные межгорные котловины и аккумулятивные равнины.

Принято считать, что соотношение масс растворимых соединений и твердых взвесей в речном стоке зависит от характера растительности суши. По известной теории биорексистазии Г. Эрара, чем более распространены на водосборе лесные фитоценозы, препятствующие механической эрозии почв, тем меньшее количество взвеси выносятся с поверхностным и внутрипочвенным стоком. При сокращении площади лесов денудационно-эрозионные процессы становятся более значимыми, и в речном стоке начинают преобладать твердые взвеси. Это четко подтверждается расчетными данными табл. 1. Так, река, в бассейне которой преобладают степные и лесостепные ландшафты (р. Чарыш, Северо-Западный Алтай), отличается более высоким

содержанием ВВ, чем река, водосборный бассейн которой представлен в основном лесными ландшафтами (р. Майма, Северный Алтай). С указанной теорией полностью согласуются и данные непосредственных наблюдений за концентрациями ВВ в речном стоке двух десятков других рек Алтая. В исследованных реках южной части Северо-Восточной провинции Алтая (бассейн Телецкого озера) с горно-лесными ландшафтами концентрация ВВ составила 1,2–18 мг/л, что заметно меньше, чем 3,6–130 мг/л и 1,4–500 мг/л в реках Северного и Северо-Западного Алтая соответственно. Отличия концентраций ВВ обусловлены тем, что речные бассейны Северного и Северо-Западного Алтая в большей степени заняты степными и лесостепными

ландшафтами, черноземные почвы которых частью распаханы и больше подвержены водной эрозии.

Метод расчета стока тяжелых металлов во взвешенной форме. В реках Северной, Северо-Западной и Северо-Восточной Алтайских провинций согласно полученным данным

содержание микроэлементов в ВВ варьирует довольно существенно (табл. 2). Наибольшими размахами значений отличаются кадмий и цинк. В табл. 3 приведены данные для четырех выбранных рек Алтая, характеризующие содержание металлов в ВВ в периоды весенне-летнего половодья (2010 г.) и летней межени (2007 г.).

Таблица 2. Вариационно-статистические характеристики содержания тяжелых металлов в ВВ рек Алтая (по данным анализа вод 33 рек, июнь 2007 г.), мг/кг

Металлы	Типичные вариации	\bar{X}^1	V^2	Экстремально высокие значения	\bar{X}_{geom}^3
Cd	0,77–79,2	21,1±3,2	89	413	14,1
Cr	14–189	108 ±7	40	285; 324; 326	108
Co	3,1–27,4	17,5±1,0	33	42,4; 52,9; 64,5	18,3
Cu	45–1016	345±45	76	1521; 2289	310
Fe	18001–76829	31140±2240	42	113270	31695
Mn	53–2693	710±99	81	-	532
Ni	66–1698	509±75	-	2611; 3064; 3851	444
Pb	14–467	193±23	69	549; 692; 746	160
Zn	7–1395	535±93	102	1724; 2368	287
V	45–138	80±4	28	368	84

Примечание: ¹ – среднее арифметическое; ² – коэффициент вариации; ³ – среднее геометрическое

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в ВВ рек Алтая в периоды весенне-летнего половодья (ВП) и летней межени (ЛМ), мг/кг

Река	Период	Металлы								
		Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V
Чулышман	ЛМ	108	17,4	178	26917	1068	259	207	260	56,3
	ВП	153	11,1	48,5	51841	448	52,2	4,66	536	52,6
Майма	ЛМ	151	14,8	297	40254	1015	676	177	486	80,7
	ВП	106	2,29	32,30	46445	666	58,90	5,25	705	15,0
Чарыш	ВП	146	14,4	20,8	30650	405	44,1	4,36	354	46,2
	ЛМ	112	15,3	86,6	28580	550	88	41,8	360	64,4

ВВ в речном стоке не образуются простым механическим измельчением материала пород, а являются результатом определенного, в том числе биогеохимического преобразования последних [10]. Поэтому содержание металлов в речных взвесах значительно превышает их содержание в почвах и почвообразующих породах речных бассейнов Алтая. Отношение (Kp) среднего содержания микроэлемента в речной взвеси к его аналогичной величине в континентальной земной коре (кларку) может служить мерой такого преобразования. По значениям Kp для взвесей рек Алтая можно выделить четыре группы элементов: 1) $Kp \approx 1$ (Fe, Mn, V); 2) $Kp = 2-4$ (Cr, Co); 3) $Kp = 11-32$ (Cu, Zn, Pb, Ni); 4) $Kp < 100$ (Cd). Отметим, что поскольку существенная часть всех транспортируемых речной сетью металлов связана с ВВ, то это будет способствовать осаждению избыточных концентраций металлов и очищению воды в целом [10].

По данным В.В. Добровольского [10] из перечисленных в табл. 2, 3 металлов Fe имеет самый низкий коэффициент водной миграции, однако в водах рек Северо-Восточного Алтая более половины его общего содержания в воде находится в растворимой форме. Это обусловлено тем, что кедрово-пихтовые леса исследованной части указанной провинции с горно-лесными бурями и мерзлотно-таежными почвами чередуются с обширными заболоченными понижениями. В условиях восстановительной обстановки болот и кислой реакции среды почвенного покрова закономерно ожидать, что железо будет мигрировать в форме водорастворимых соединений. В реках Северо-Западного Алтайской провинции, которые на большем своем протяжении дренируют степные и лесостепные ландшафты, железо, как и все остальные металлы, мигрирует преимущественно в составе взвеси. Доля взвешенных форм всех металлов от общего содержания в водах

Северо-Западного Алтая, как правило, составляет не менее 80%.

В период летней межени содержание Mn, Ni, Cu и Pb в ВВ рек рассматриваемых провинций Алтая от двух до десятков раз выше, чем в весенне-летнее половодье. Это обусловлено тем, что в летнюю межень грубообломочные частицы не попадают в водный поток и в ВВ преобладает тонкодисперсная фракция. Последняя насыщена тяжелыми металлами в силу большей сорбционной способности. При половодье в водную миграцию вовлекаются более крупные агрегаты. Количество ВВ в водном потоке увеличивается в несколько раз, хотя ВВ менее насыщены тяжелыми металлами.

Большая часть всего годового стока ВВ и тяжелых металлов осуществляется в периоды весенне-летнего половодья и летней межени, поэтому рассчитанный среднегодовой сток взвешенных форм тяжелых металлов за указанные периоды можно полагать близким к годовому. Если принять несущественными годовые колебания содержания металлов в ВВ в среднем

по каждому из периодов, то можно использовать данные единичных наблюдений за содержанием металлов в ВВ для среднегодовых оценок. Используя данные наблюдений по содержанию микроэлементов в ВВ (табл. 3) и рассчитанную среднегодовую концентрацию ВВ в реках Алтая (табл. 1) можно вычислить среднегодовую концентрацию взвешенных форм металлов в речном стоке (табл. 4). На основе данных табл. 4 с привлечением рассчитанных по ранее разработанной модели среднегодовых водных стоков [15] рассчитывается среднегодовой вынос металлов с речным твердым стоком по каждому из рассматриваемых периодов (табл. 5). Из табл. 5 видно, что если водный сток рек Майма и Чарыш в летний период меньше в 2,5-2,7 раза, чем в весенне-летний, то стоки ВВ и вынос некоторых металлов (Cr, Co, Fe, Zn, V) в эти же периоды различаются в 7-20 раз. В случае Cu, Mn, Ni, Pb уменьшение стока летом по сравнению с весной не столь значительно из-за более высокой концентрации (табл. 3) этих металлов в ВВ летом.

Таблица 4. Расчетная среднегодовая концентрация ВВ и взвешенной формы тяжелых металлов в периоды весенне-летнего половодья (ВП) и летней межени (ЛМ)

Река	Период	ВВ, мг/л	Металлы, мкг/л								
			Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V
Чулышман	ЛМ	8,8	1,0	0,2	2	237	9	2	2	2,3	0,5
	ВП	35	5,4	0,4	1,7	1814	16	1,8	0,2	19	1,8
Майма	ЛМ	14	2,1	0,2	4	556	14	9	2	6,7	1,1
	ВП	77	8,1	0,2	2,5	3567	51	4,5	0,4	54	1,2
Песчаная	ЛМ	98	14	1,4	2,0	3010	40	4,3	0,4	35	4,5
	ВП	25	2,8	0,4	2,1	706	14	2,2	1,0	8,9	1,6

Таблица 5. Среднегодовой сток ВВ и тяжелых металлов в форме нерастворимых соединений за периоды весенне-летнего половодья (ВП) и летней межени (ЛМ)

Река	Период	Расход воды, м ³ /с	Сток ВВ, тыс. т	Вынос металлов, т								
				Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V
Чулышман	ЛМ	277	13,1	1,48	0,30	2,97	352	13,35	2,97	2,97	3,41	0,74
	ВП	18	4,95	0,76	0,06	0,24	257	2,26	0,25	0,03	2,69	0,25
Майма	ЛМ	7,2	0,53	0,08	0,01	0,15	21,4	0,54	0,35	0,08	0,26	0,04
	ВП	70	42,4	4,46	0,11	1,38	1963	28,07	2,48	0,22	29,7	0,66
Песчаная	ЛМ	475	366,0	52,3	5,23	7,47	11241	149,4	16,1	1,49	130,7	16,8
	ВП	175	23,1	2,62	0,37	1,97	661	13,10	2,06	0,94	8,33	1,50

Выводы: разработана универсальная модель стока ВВ, применяемая для расчета стока ВВ в произвольных речных бассейнах Алтае-Саянской горной страны. Показано, что общее содержание ВВ в реках Алтая зависит от ландшафтной структуры водосборного бассейна и представленности в нем определенных групп геосистем. Чем больше площадь лесных

ландшафтов на территории водосбора реки, тем ниже содержание ВВ в водах, с увеличением же доли степных ландшафтов содержание ВВ возрастает. На основе разработанной модели предложен метод расчета среднегодового выноса тяжелых металлов реками Алтая в периоды весенне-летнего половодья и летней межени. Изменение как стока ВВ, так и среднегодового

выноса тяжелых металлов по указанным периодам более существенно, чем расхода воды.

В работе использовались результаты исследовательского междисциплинарного интеграционного проекта №70 фундаментальных исследований СО РАН на 2012-2014 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Алекин, О.А.* Сток растворенных веществ с территории СССР / *О.А. Алекин, Л.В. Бражникова.* – М.: Наука, 1964. 143 с.
2. *Фадеев, В.В.* Связь между гидрохимическим и водным режимом равнинных и горных рек СССР / *В.В. Фадеев, М.Н. Тарасов, В.Л. Павелко* // Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда. Т. 9. –Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 198-212.
3. *Hrachowitz, M.* Regionalization of transit time estimates in montane catchments by integrating landscape controls / *M. Hrachowitz, C. Soulsby, D. Tetzlaff, J.J.C. Dawson* // *Water Resources Research.* 2009. Vol. 45 (5). P. 1-18.
4. *Tetzlaff, D.* How does landscape structure influence catchment transit time across different geomorphic provinces? / *D. Tetzlaff, J. Seibert, K.J. McGuire et al.* // *Hydrological Processes.* 2009. Vol. 23 (6). P. 945-953.
5. *Tetzlaff, D.* Inter-catchment comparison to assess the influence of topography and soils on catchment transit times in a geomorphic province; the Cairngorm mountains, Scotland / *D. Tetzlaff, J. Seibert, C. Soulsby* // *Hydrological Processes.* 2009. Vol. 23 (13). P. 1874-1886.
6. *Парфенова, Г.К.* Эволюция техногенеза гидрохимических показателей качества вод урбанизированных территорий (на примере бассейна Верхней Оби). Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук. – Томск, 2005. 38 с.
7. *Шварцев, С.Л.* Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби / *С.Л. Шварцев, О.Г. Савичев* // *Водные ресурсы.* 1997. №6. С. 762-768.
8. *Земцов, В.А.* Ресурсы поверхностного стока в бассейне Оби: основные закономерности и проблемы управления. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук. – Барнаул, 2004. 43 с.
9. *Савичев, О.Г.* Гидрохимический сток рек бассейна Средней Оби и его природно-антропогенная трансформация. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра геогр. наук. – Барнаул, 2005. 46 с.
10. *Добровольский, В.В.* Основы биогеохимии. – М.: Высш. шк., 1998. 413 с.
11. *Маринин, А.М.* Физическая география Горного Алтая: учебное пособие по спецкурсу / *А.М. Маринин, Г.С. Самойлова.* – Барнаул, БГПИ, 1987. 110 с.
12. *Новиков, Ю.В.* Методы исследования качества водоемов / *Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкин, З.Н. Болдина.* – М., 1990. 397 с.
13. *Kirsta, Yu.B.* System-analytical modelling–Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // *Ecol. Modelling.* 2006. Vol. 191. P. 315-330.
14. *Кирста, Ю.Б.* Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем / *Ю.Б. Кирста, Б.Ю. Кирста.* – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. 270 с.
15. *Кирста, Ю.Б.* Имитационная математическая модель стока средних и малых рек для горных территорий / *Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов, О.В. Ловцкая и др.* // *Известия Самарского научного центра РАН.* 2012. Т. 14, №1(9). С. 2334-2342.
16. *Кирста, Ю.Б.* Типизация ландшафтов для оценки речного стока в Алтае-Саянской горной стране / *Ю.Б. Кирста, Л.Ф. Лубенец, Д.В. Черных* // *Устойчивое развитие горных территорий.* 2011. №2(8). С. 51-56.
17. *Кирста, Ю.Б.* Универсальная математическая модель стока взвешенных веществ для бассейнов горных рек / *Ю.Б. Кирста, А.В. Пузанов, О.В. Ловцкая, Л.Ф. Лубенец* // *Устойчивое развитие горных территорий.* 2012. №3-4 (13-14). С. 46-53.
18. *Кирста, Ю.Б.* Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // *Мир науки, культуры, образования.* 2011. № 3 (28). С. 330-337.

MODEL OF SUSPENDED MATTER RUNOFF AND EVALUATION OF LONG-TERM AVERAGE DISCHARGE OF HEAVY METALS BASED ON SINGLE OBSERVATIONS

© 2013 Yu.B. Kirsta, A.V. Puzanov, S.V. Baboshkina
Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul

A universal simulation model of suspended matter runoff was developed with the help of system-analytical modeling on the example of rivers of Altai-Sayan mountain country. The model allows the calculation of seasonal and long-term runoff dynamics for arbitrarily selected river basins using only the map data on landscape structure and the basin orography as well as geographically generalized monthly mean air temperature and precipitation, expressed as a percentage of their long-term average values. A method for calculation of the long-term average discharge of suspended heavy metals by the rivers of Altai during the spring-summer floods and summer drought period is proposed. For this purpose, the estimated long-term average concentration of suspended matter and water runoff, and the observation data on the microelement composition of river sediments are used.

Key words: *heavy metals, suspended matter, runoff, simulation, mountain rivers, Altai*

Yuriy Kirsta, Doctor of Biology, Main Research Fellow. E-mail: kirsta@iwep.ru; Alexander Puzanov, Doctor of Biology, Deputy Director. E-mail: puzanov@iwep.ru; Svetlana Baboshkina, Candidate of Biology, Senior Research Fellow. E-mail: svetlana@iwep.ru