

Расчёт стока верховья ручья Зун-Тигня в комплексной модели системы «рудничные воды — природные воды» на месторождении Бом-Горхон

© *Е. В. Васильева, В. И. Васильев, О. К. Смирнова*

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: geojenny@mail.ru

Рассмотрена методика геометрического и физического этапов комплексного компьютерного моделирования стока техногенных вод в природную среду. Методика применена в расчёте месячного стока вод вольфрамового месторождения Бом-Горхон. Учтён масс-баланс отстойников.

Ключевые слова: техногенные воды; речной сток; отстойники; Зун-Тигня; компьютерное моделирование.

Calculation of the flow of the river Zun-Tignya upper reaches in the complex model of a system «mine water — nature water» on Bom-Gorkhon deposit

E. V. Vasilieva, V. I. Vasiliev, O. K. Smirnova

Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: geojenny@mail.ru

The method of the geometrical and physical stages of the complex computer simulation of the flow of technogenic water in the natural environment has been considered. The method is applied to the calculation of monthly water flow of Bom-Gorkhon tungsten deposit. The mass balance of the sumps has been taken into account.

Keywords: technogenic water; river flow; sumps; Zun-Tignya; complex computer simulation.

Бом-Горхонское вольфрамовое месторождение гюбнерит-сульфидно-кварцевого минерального типа грейзеновой формации расположено в юго-западной части Забайкальского края, в 10 км к северо-востоку от села Новопавловка. Добыча и обогащение руд ведётся с 1980-х годов до настоящего времени. В результате переработки руды по флотационно-гравитационной технологической схеме получают товарные вольфрамитовый и сульфидный концентраты. Массивы отходов обогащения размещаются вниз по течению ручья Зун-Тигня. Они дренируются водами обогатительной фабрики и атмосферными осадками [5].

На геометрическом и физическом этапах комплексного компьютерного моделирования [1] стока атмосферных и поверхностных вод через техногенную обстановку необходимо:

1. Определить и оптимально расположить подсистемы (резервуары) модели.
 2. Определить сценарий переноса вещества резервуаров между собой и внешней средой.
 3. Определить температуры и давления в резервуарах, их изменения в моделируемый период.
 4. Рассчитать баланс массопереноса между резервуарами в зависимости от климатических условий.
- Предусмотреть влияние отстойников на масс-баланс.

Рассмотрим возможный метод решения этих и некоторых сопутствующих задач.

Предлагаем следующий сценарий массопереноса (рис. 1).

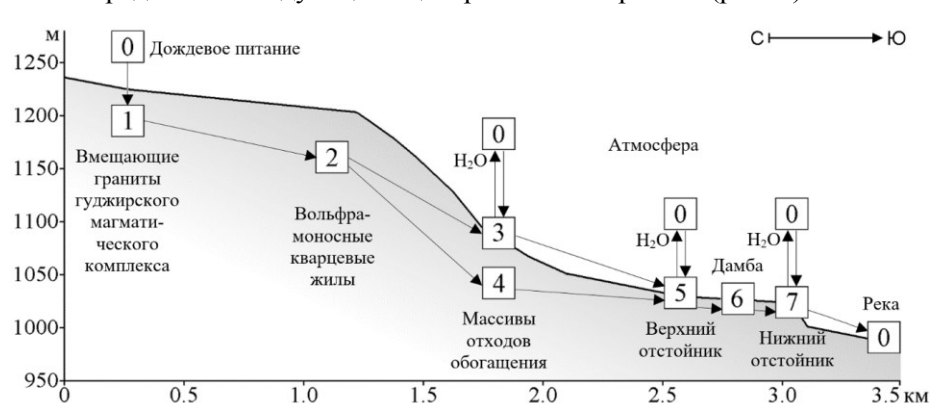


Рис. 1. Схема сценария массопереноса в модели.

1–7 — физико-химические резервуары моделируемой системы, 0 — внешняя среда. Стрелки показывают направления переноса группы подвижных фаз или H_2O (указано).

Для расчёта отсутствующего значения стока р. Зун-Тигня необходимо привлечение косвенных гидрометрических [4, 9] и картографических данных, которые можно использовать двумя способами. Первый — пропорция между параметрами известного гидрографа соседнего ручья Тарбагатай (бассейн/сток=63.8 км²/1793491 м³) и неизвестного — р. Зун-Тигня (52.7 км²):

$$Q_{ЗТ} = F_{ЗТ} \times Q_T / F_T = 52.7 \times 1793491 / 63.8 = 1481458 \text{ м}^3 \quad (1)$$

где $Q_{ЗТ}$, Q_T — годовые стоки ручьёв Зун-Тигня и Тарбагатай, $F_{ЗТ}$, F_T — площади бассейнов ручьёв

Зун-Тигня и Тарбагатай соответственно. Второй способ опирается на статистический анализ многолетнего распределения стоков рек и их коэффициенты вариации с экстраполяцией на неизученные гидрографы. К сожалению, известные методики расчёта неизученного годового стока применимы только для рек с площадями водосбора более 500 км². Наиболее подходящей для р. Зун-Тигня мы считаем методику расчёта годового стока неизученных рек бассейна оз. Байкал, предложенную Е.Ж. Гармаевым [3], которая, несмотря на ограничения (площадь водосбора более 500 км², учёт только гидрометрических наблюдений без климатических факторов), наиболее приемлема в силу географического положения и учёта водного режима исследуемого района. Для рек со средней абсолютной высотой водосбора до 1700 м (максимальная высота в бассейне р. Зун-Тигня — 1299.1 м, минимальная ~735 м) по данной методике:

$$q = q_0 - 60 \ln(A/1000) + 0.3 \cdot (h - 1300) \quad (2)$$

где q — модуль стока; q_0 — картографируемый параметр (норма модуля максимального стока, приведённого к площади 1000 км² и средней высоте водосбора 1300 м); A — площадь водосбора; h — средняя высота водосбора. Согласно расчётам по этой методике годовой сток р. Зун-Тигня составляет 1360923 м³. Поскольку результаты расчёта обоими способами (1, 2) формально равноправны (второй способ хотя и более обоснован, но не предназначен для малых рек), для использования в модели примем за значение годового стока р. Зун-Тигня их среднее арифметическое ~1421190 м³. Из анализа топографической карты бассейна р. Зун-Тигня следует, что в верховьях ручья (выше отстойников) формируется ~6.7% её водостока, т.е. около 95219.75 м³. Такой объём и будем считать за годовой сток воды в моделируемой системе. В зимнее время ручей перемерзает полностью, весь годовой сток приходится на месяцы с апреля по октябрь. Внутригодое распределение стока представлено в табл. 1.

Таблица 1

Внутригодое распределение стока верховьев р. Зун-Тигня за месяцы тёплого периода года, %

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
По К. К. Вотинцеву [2]	5.15	15.77	15.45	18.24	17.81	17.06	10.52
По В. И. Коннову [6]	8.97	19.41	10.84	11.26	22.66	18.27	8.60
р. Тарбагатай [9]	6.76	20.99	13.62	11.6	24.72	15.04	7.27
Среднее, %	6.96	18.72	13.30	13.70	21.73	16.79	8.80
Среднее, м ³	6627.01	17827.70	12667.06	13044.75	20690.53	15986.82	8375.89

Модельные резервуары 5–7 представляют собой отстойники с дамбой между ними, которые согласно методике геометрического этапа [1] аппроксимированы до фигур, представленных на схеме (рис. 2). Для соблюдения подобия фактическим данным верхний отстойник разделён на две призмы с основаниями в виде прямоугольных трапеций $AEDF$ (I) с глубиной 3 м и $EBCF$ (II) с глубиной 1.5 м. Третья призма (III) с основаниями в виде равнобедренных трапеций $DCLK$ высотой H представляет дамбу мощностью 3 м, дренируемую раствором. Нижний отстойник (IV) аппроксимирован до призмы глубиной 2 м с основаниями в виде прямоугольных треугольников KLM .

Размеры сторон в метрах: $AD=25$; $BC=55$; $AB=85.44$; $DC=80$; $EF=40$; $KL=60$; $LM=25$; $KM=65$; $DK=CL=18.03$. Площади поверхностей (S , м²) и объёмы (V , м³) фигур: $S_I=1600$; $S_{II}=1900$; $S_{I+II}=3500$; $S_{IV}=750$; $V_I=4800$; $V_{II}=2850$; $V_{I+II}=7650$; $V_{III}=3150$; $V_{IV}=1500$. В отстойниках происходит испарение воды, которое рассчитывается по формуле А. Н. Постникова [8]:

$$E = 4(21.3t_{II} + 27)(0.026t_{II} + 0.62), t_{II} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{12} \quad (3)$$

где E — среднее многолетнее испарение, мм; t_{II} — температурная характеристика тёплого периода года для территорий, высота которых не превышает 1500 м; N — количество тёплых месяцев в году;

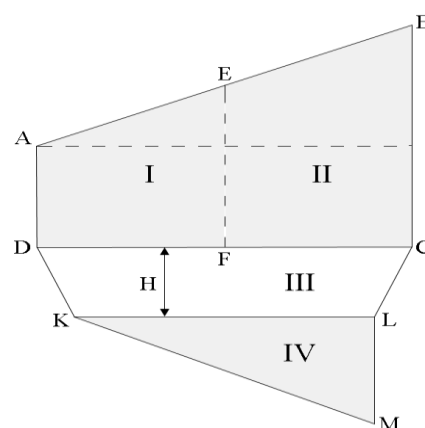


Рис. 2. Схема модельных отстойников (план, пояснения в тексте).

t_i — средняя многолетняя температура воды за i -й тёплый месяц (табл. 2). Расчётное испарение с поверхности воды модельных отстойников показано в табл. 3. Заметим, что в отстойниках при испарении теряется до 47.414% объёма раствора.

Расчётный сток верховья р. Зун-Тигня с учётом отстойников представлен в табл. 4.

Таблица 2

Средняя многолетняя температура воды за месяцы тёплого периода года (°C) и расчётные t_{II} , E (мм)

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	t_{II}	E , мм
По К. К. Вотинцеву [2]	0.47	6.42	17.08	20.51	17.88	13.86	2.49	6.56	527.16
По данным сайта НАСА [10]	0.27	8.50	15.60	17.80	14.70	6.20	0.36	5.29	422.91
Среднее	0.37	7.46	16.34	19.16	16.29	10.03	1.43	5.92	474.14

Таблица 3

Внутригодовое распределение испарения за месяцы тёплого периода года

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Сумма
E , % [7]	2.92	15.53	24.27	20.39	19.42	13.59	3.88	100.00
E , мм	13.81	73.65	115.08	96.67	92.07	64.45	18.41	474.14
E_I , м ³	48.33	257.79	402.79	338.34	322.23	225.56	64.45	1659.49
E_{II} , м ³	10.36	55.24	86.31	72.50	69.05	48.33	13.81	355.61
E_{I+II} , м ³	58.69	313.03	489.10	410.85	391.28	273.90	78.26	2015.10

Таблица 4

Расчётный сток верховья р. Зун-Тигня с учётом отстойников, м³

Месяц	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Тёплый период
→ Резервуар №5	6627.01	17827.70	12667.06	13044.75	20690.53	15986.82	8375.89	97234.85
↑ Испарение	48.33	257.79	402.79	338.34	322.23	225.56	64.45	1659.49
→ Резервуар №7	6578.68	17569.91	12264.27	12706.41	20368.30	15761.26	8311.44	95575.36
↑ Испарение	10.36	55.24	86.31	72.50	69.05	48.33	13.81	355.6
→ Река	6568.32	17514.67	12177.96	12633.91	20299.25	15712.93	8297.63	95219.76

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №16-05-01041).

Литература

1. Васильев В. И. Объектно-ориентированный подход в компьютерном моделировании геологических явлений и процессов // Вестник ИргСХА. 2013. Вып. 57. Ч. 1. С. 79–86.
2. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал / Вотинцев К. К. [и др.] М.: Наука, 1965. 495 с.
3. Гармаев Е. Ж. Методика расчёта максимального стока гидрологически неизученных рек бассейна озера Байкал // Вестник МГУ. 2008. № 6. С. 25–29.
4. Государственный водный реестр РФ [Электронный ресурс] // URL: <http://www.textual.ru/gvr/> (Дата обращения: 30.04.2018).
5. Прогноз геоэкологических последствий разработки месторождения вольфрама Бом-Горхон / Ерёмин О. В. [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. № 22. С. 125–131.
6. Коннов В. И. Методология оценки экологического состояния малых рек и их защиты от влияния горного производства (на примере Восточного Забайкалья): автореф. докт. дисс. М.: МГУ, 2008. 38 с.
7. Методика расчёта водохозяйственных балансов водных объектов / Приказ Министерства природных ресурсов РФ № 314 от 30 ноября 2007 г «Об утверждении Методики расчёта водохозяйственных балансов водных объектов» // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2008. № 16.
8. Постников А. Н. Приближенный метод оценки испарения с озёр и водохранилищ // Учёные записки РГГМУ. 2010. № 13. С. 21–29.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн оз. Байкал. Л.: ГМИ, 1973. Т. 16. Вып. 3. 400 с.
10. Atmospheric Science Data Center [Электронный ресурс] // URL: <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (Дата обращения 30.04.2018).

Васильева Евгения Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ.