

Распространение неорганических загрязняющих веществ по глубине верховой торфяной залежи

О. Г. САВИЧЕВ

Томский политехнический университет
634050, Томск, просп. Ленина, 30
E-mail: osavichev@mail.ru

Статья поступила 06.03.2014

Принята к печати 11.04.2014

АННОТАЦИЯ

Разработана модель распространения неорганических веществ в загрязненных водах олиготрофного болота на примере участка Васюганского болота и проведены геомиграционные расчеты. Показано, что наиболее значительные изменения минерализации болотных вод в результате поступления производственных сточных вод нефтегазодобывающих предприятий приурочены к верхнему слою толщиной около 0,5–1,0 м. Создание в деятельном горизонте изоляционного слоя из суглинка помогает снизить воздействие на болотные воды, но не обеспечивает сохранение их фонового состояния в инертном горизонте.

Ключевые слова: болотные воды, загрязняющие вещества, геомиграционные расчеты.

Загрязнение водных объектов в результате добычи нефти и газа является серьезной проблемой, существенно осложняющей хозяйственное освоение центральных и северных регионов Западной Сибири. Особенностью этой территории является широкое распространение болот, выполняющих сложные экологические функции в процессе функционирования природно-техногенных комплексов и относящихся (в соответствии с действующим природоохранным законодательством Российской Федерации) к поверхностным водным объектам. Последнее обстоятельство накладывает ряд ограничений по строительству и эксплуатации на болотах шламовых амбаров, полигонов твердых отходов, выпусков сточных вод, что определяет актуальность исследований условий распространения загрязняющих веществ в болотных водах.

Нами эта задача рассмотрена применительно к условиям миграции главных ионов по глубине верховой торфяной залежи в южно-таежной подзоне Западной Сибири в рамках теоретического обоснования природоохранных мероприятий по предотвращению и ликвидации последствий загрязнения торфяных болот в процессе добычи нефти и газа (в результате размещения отходов бурения и аварий в системе поддержания пластового давления). Основным объектом исследования послужил олиготрофный участок Васюганского болота на водоразделе рек Бакчар и Икса в 160 км от г. Томска и 140–160 км от ближайших действующих нефтегазодобывающих предприятий (рис. 1). Преобладающий фитоценоз на участке и прилегающей территории – сосново-сфагново-кустарничковый (“низкий рям”). Торфяная залежь в основа-

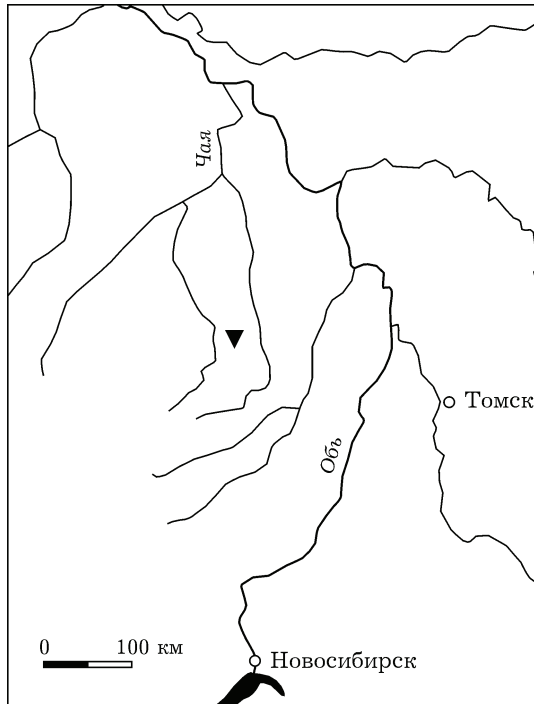


Рис. 1. Схема расположения района исследований (обозначено треугольником)

нии сложена торфами переходного типа, в верхней части разреза – верховыми (фускум и магелланикум). Более подробное описание участка приведено в работе [Савичев и др., 2011].

Исследование включало разработку математической модели миграции главных ионов (суммарного содержания ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) в болотных водах по глубине торфяной залежи, моделирование условий их загрязнения и интерпретацию полученных результатов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Структура математической модели. Основной рассматриваемой модели является одномерное уравнение переноса в виде:

$$n_a \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (V_z C)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S, \quad (1)$$

$$V_z = k_w I \approx k_w \left(1 + \frac{h_s}{L} \right), \quad (2)$$

$$k_w = k_f \left(\frac{w - w_0}{w_1 - w_0} \right)^{k_1}, \quad (3)$$

$$k_f = \frac{k_2 k_a}{(z + k_3)^{k_4}}, \quad (4)$$

$$D_z = D_m + k_5 V_z, \quad (5)$$

где C – значение гидрохимического показателя (концентрация исследуемого вещества или сумма главных ионов); z и t – пространственная (от средней поверхности болота) и временная координаты; n_a – активная пористость; V_z – скорость фильтрации; I – градиент напора; k_f – коэффициент фильтрации; k_w – коэффициент влагопереноса (фильтрации при полном насыщении); k_a – коэффициент, учитывающий анизотропные свойства торфов; L – длина зоны просачивания; h_s – высота слоя сточных (атмосферных) вод, поступивших на поверхность болота; w – влажность торфа на глубине z ; w_0 – содержание связанной влаги; w_1 – влажность при полном насыщении; D_z – коэффициент гидродинамической дисперсии; D_m – коэффициент молекулярной диффузии; S – функция, характеризующая поступление вещества в болотные воды из торфов, органо-минеральных отложений, взвешенных веществ и процессы его выведения из раствора; k_1 , k_2 , k_3 , k_4 , k_5 – эмпирические коэффициенты [Лиштван и др., 1989; Loucks, Van Beek, 2005; Пермяков и др., 2009].

Коэффициент k_1 принят по С. Ф. Аверьянову в размере 3,5, коэффициент k_5 (0,0025) и величина n_a (85,4 %) – с учетом плотности скелета торфа ρ_s (113,1 кг/м³) согласно [Лиштван и др., 1989], влажность торфа на высоте z^* (в см) над уровнем болотных вод – по зависимости, приведенной в [Иванов, 1975]:

$$w = \rho_p \exp(k_6 - k_7 \ln z^*), \quad (6)$$

где ρ_p – объемный вес абсолютно сухого торфа (80 кг/м³); k_6 (0,119) и k_7 (0,024) – эмпирические коэффициенты, вычисленные исходя из измеренного значения влажности торфа на глубине 0,1 м от поверхности болота (85 %), значения k_2 (82,659), k_3 (1), k_4 (3,244) определены по материалам [Иванов, 1975], а k_a (0,626) – по данным о фильтрационных свойствах торфов Томской области [Емельянова, Крамаренко, 2001]. Ниже уровня болотных вод влажность торфа ориентировочно принята равной средней влажности торфа \bar{w} (90,1 %) на Васюганском торфяном

месторождении (участок № 5) [Торфяные ресурсы..., 1998]. Значения ρ_p и пористости n (94,8 %), использованной как приближение для w_1 , приняты в соответствии с [Природные ресурсы..., 1977], коэффициент молекулярной диффузии главных ионов – равным $0,85 \cdot 10^{-5}$ см²/с [Крайнов и др., 2004]. Значение w_0 (69,8 %) оценивалось в зависимости от пористости n по данным [Мелиорация..., 1985]. Среднее значение плотности скелета торфа ρ_s вычислено согласно [Лиштван и др., 1989] по уравнению:

$$\rho_s = 924 - 9\bar{W}. \quad (7)$$

Функция источника S определялась двумя способами: обратным расчетом по уравнению (1) для каждого расчетного интервала при допущении неизменности полученных значений во времени; как функция влажности торфа, коэффициента влагопроводности и концентрации вещества в болотных водах. В последнем случае вид функции S определен с учетом предложений по расчету скорости растворения минералов и органоминеральных соединений V_{md} и площади контакта воды и минералов A [Chemical Weathering..., 1995]:

$$V_{md} = V_0 A f_{pH} f_E f_J f_{DG} f_C, \quad (8)$$

$$A = \frac{6\lambda}{\rho_m d}, \quad (9)$$

где V_0 – константа скорости растворения минерала; f_{pH} , f_E , f_J , f_{DG} , f_C – функции, отражающие зависимость скорости растворения от pH, энергии активации химической реакции E , ионной силы раствора J , отклонения от равновесного состояния, концентрации вещества в растворе (в последнем случае f_C – обычна произведение активностей компонентов, участвующих в реакции); d – диаметр зерен минерала; ρ_m – плотность вещества, взаимодействующего с водой; λ – коэффициент, отражающий соотношение фактической и расчетной площадей контакта частиц с водой.

Поскольку для торфов, с одной стороны, сложно достоверно оценить значения большинства параметров уравнений (8, 9), а с другой, имеются полуэмпирические зависимости значений влажности и коэффициентов влагопроводности от глубины расчетной точ-

ки (как косвенных характеристик пористости и плотности торфа), то выражение для описания S можно представить в виде:

$$S = k_8 k_w^{k_9} (\bar{W} - w + 0,1)^{k_{10}} C^{k_{11}} - S_{\min} - 0,01, \quad (10)$$

S_{\min} (0,53) – минимальное значение S ; k_8 (0,388), k_9 (-0,118), k_{10} (0,074), k_{11} (-0,221) – эмпирические коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов по известным значениям S , \bar{W} , w , C , S_{\min} (значения S предварительно вычисляются первым способом для $t = 0$; квадрат корреляционного отношения R^2 уравнения регрессии (10) при указанных выше значениях k_8 , k_9 , k_{10} , k_{11} составляет 0,52 при критическом значении 0,36).

Для аппроксимации уравнения (1) использована неявная конечно-разностная схема:

$$f_1 = \frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{t+1,z} - C_{t,z}}{\Delta t}, \quad (11)$$

$$f_2 = \frac{\partial C}{\partial z} \approx \frac{C_{t+1,z+1} - C_{t+1,z-1}}{2 \Delta z}, \quad (12)$$

$$f_3 = \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \approx \frac{C_{t+1,z+1} - 2C_{t+1,z} + C_{t+1,z-1}}{\Delta z^2}, \quad (13)$$

где Δt – шаг по времени; Δz – шаг по глубине торфяной залежи [Benedini, Tsakiris, 2013]. Поиск решения полученной системы уравнений проводился итерационным методом (“золотого сечения”) с использованием целевой функции:

$$F = \sum_{i=1}^N (f_{1,i,t} + f_{2,i,t} - f_{3,i,t} - S_{i,t})^2 + (\Phi_t - \Phi_{t-1})^2 \rightarrow 0, \quad (14)$$

где N – количество расчетных интервалов Δz по глубине торфяной залежи; Φ_t – масса вещества в колонне с основанием 1 м² и высотой, равной глубине торфяной залежи с учетом поступления или вывода веществ из раствора (S) за период времени от 0 до t . Шаг по времени ($\Delta t = 2$ с) и глубине ($\Delta z = 0,0025$ м) выбирался, исходя из соблюдения условия

$$\frac{V_z \Delta z}{D_z} \leq 2 \quad [\text{Benedini, Tsakiris, 2013}].$$

Варианты моделирования. Для апробации модели использовались данные исследований, выполненных в Томском политехническом университете (ТПУ) в 2010 г. Отбор проб проводился на олиготрофном участке Васю-

Исходные данные для геомиграционных расчетов

Показатель	Единицы измерения	Пункт пробоотбора на Васюганском болоте; 27.05.2010 г.; глубина отбора проб, м				Средние значения*	
		0,3	1,2	1,8	2,3	амбарные	дождевые
						воды	воды
Σ_{mi}	мг/дм ³	8,0	11,6	35,5	55,6	7211,8	50,9
Ca ²⁺	То же	2,4	4,0	9,0	10,4	248,4	5,4
Mg ²⁺	»	0,1	0,6	1,6	1,0	31,8	2,0
Na ⁺	»	0,6	0,4	0,6	0,9	2124,8	3,2
K ⁺	»	0,1	2,0	2,9	2,9	202,2	
HCO ₃ ⁻	»	<3	<3	17,7	35,4	338,3	29,1
SO ₄ ²⁻	»	1,0	0,5	1,1	0,6	388,1	8,0
Cl ⁻	»	2,3	2,6	2,6	4,4	3874,4	3,2
БО	мгО/дм ³	124,0	124,0	108,0	99,0	364,0	4
pH	–	3,90	4,18	5,49	6,12	8,00	6,50

* По данным [Савичев, Иванов, 2010; Савичев и др., 2013]; Σ_{mi} – сумма главных ионов; БО – бихроматная окисляемость.

ганского болота в 300 м от суходола (один пункт пробоотбора) совместно с М. А. Здвижковым и А. В. Шмаковым с использованием вакуумного насоса в соответствии с рекомендациями Росгидромета, лабораторные работы – в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории ТПУ по аттестованным методикам. Для моделирования использовались материалы о суммарном содержании главных ионов (Σ_{mi}) на глубине 0,3, 1,2, 1,8, 2,3 м по состоянию на 27 мая 2010 г. (табл. 1). Значения Σ_{mi} в остальных точках разреза определялись линейной интерполяцией (в горизонте с глубинами от 0 до 0,3 м принято постоянное значение Σ_{mi} , равное 8,0 мг/дм³). Уровень болотных вод составил 0,2 м от поверхности болота, глубина торфяной залежи – 2,3 м.

При моделировании распространения загрязняющих веществ в торфяной залежи рассмотрено три основных варианта: 1) одномоментный сброс загрязняющих веществ на поверхность незагрязненного болота в момент времени $t = 0$; 2) постоянное поступление загрязняющих веществ на поверхность незагрязненного болота; 3) постоянное поступление на поверхность загрязненного болота (равномерно по всей глубине торфяной залежи) атмосферных вод. Дополнительно изучены особенности изменения суммарного

содержания главных ионов в болотных водах при наличии малопроницаемого слоя и выпадении атмосферных осадков. Состав макрокомпонентного состава болотных, сточных и атмосферных вод, значений pH, Σ_{mi} и бихроматной окисляемости (БО) приведен в табл. 1, варианты моделирования – в табл. 2. Расчетный слой сточных вод – 0,0025 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение расчетного распределения величины Σ_{mi} по глубине торфяной залежи показало, что в пределах деятельного горизонта (в естественных условиях) происходит достаточно интенсивное выведение солей из раствора в диапазоне до 0,35 м от поверхности болота, причем минимальное значение функции S приурочено к горизонту болотных вод (рис. 2). Это объясняется увеличением площади контакта воды, органических и минеральных веществ в нижней части деятельного горизонта, в результате чего возрастает масса малорастворимых соединений металлов с гуминовыми кислотами, которые выводятся из раствора даже при относительно низком содержании главных ионов. При этом, предположительно, происходит соосаждение и сорбция на торфяных частицах ряда других соединений, что приводит к форми-

Варианты геомиграционных расчетов

Вариант расчета	Способ вычисления функции источника S	Характер поступления сточных вод
I	Обратный расчет по уравнению (1)	Поступление сточных вод в момент времени $t = 0$ с; слой 0,0025 м; $\Sigma_{mi} = 7211,8$ мг/дм ³ ; исходное состояние в момент $t = 0$ с
II	Обратный расчет по уравнению (1)	Поступление сточных вод в момент времени $t = 0$; слой 0,0025 м; $\Sigma_{mi} = 7211,8$ мг/дм ³ ; расчетное время $t = 60$ с
III	Расчет по уравнению (10)	Поступление сточных вод в момент времени $t = 0$; слой 0,0025 м; $\Sigma_{mi} = 7211,8$ мг/дм ³ ; расчетное время $t = 60$ с
IV	Расчет по уравнению (10)	Постоянное поступление сточных вод в каждый момент времени t ; слой 0,0025 м; $\Sigma_{mi} = 7211,8$ мг/дм ³ ; расчетное время $t = 60$ с
V	Расчет по уравнению (10)	Постоянное поступление сточных вод; слой 0,0025 м; $\Sigma_{mi} = 7211,8$ мг/дм ³ ; наличие изолирующего слоя суглинков 0,1–0,2 м с пористостью 10 % и $k_f = 10^{-6}$ м/с; расчетное время $t = 60$ с
VI	Расчет по уравнению (10)	Постоянное поступление атмосферных осадков; слой 0,0025 м; $\Sigma_{mi} = 50,9$ мг/дм ³ ; торфяная залежь загрязнена при постоянном значении $\Sigma_{mi} = 7211,8$ мг/дм ³ ; расчетное время $t = 60$ с

рованию слоя с повышенными концентрациями в торфе Са, Mg, Fe, Th, U, Hg и многих других элементов.

Уровни болотных вод исследуемого олиготрофного болота изменяются в диапазоне 0,15–0,30 м. Кроме того, в засушливые годы вероятно осадка торфяной залежи, а в годы, оптимальные по влажности и температуре воздуха, – прирост, максимальная величина которого в районе исследований, по оценкам [Пологова, Лапшина, 2002], достигает 2,62 мм/год. Вследствие этого наблюдается определенный разброс глубин, к которым приурочены повышенные концентрации макро- и микроэлементов в торфах. Тем не менее в целом можно предположить, что если

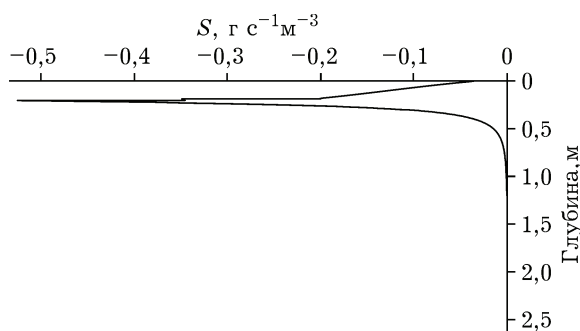


Рис. 2. Изменение по глубине торфяной залежи функции S в водах исследуемого участка Васюганского болота по состоянию на 27.05.2010

в течение всего периода образования и эволюции олиготрофного болота (по крайней мере, в южно-таежной подзоне Западной Сибири) гидроклиматические условия существенно не менялись, то, во-первых, наблюдается общая тенденция снижения суммарного содержания растворенных солей в болотных водах от поверхности болота, где максимально влияние атмосферных ультрапресных осадков, до границы болотных отложений и минеральных грунтов, в той или иной мере характеризующейся притоком более минерализованных подземных вод. Во-вторых, на границе слоев с существенно различными фильтрационными свойствами, контролирующими интенсивность водообмена (следовательно, время и площадь контакта воды, органических и минеральных веществ), происходит формирование горизонтов относительно небольшой толщины с повышенными концентрациями ряда веществ в торфах. Именно такой характер изменения химического состава торфов и болотных вод наблюдается на рассматриваемом (олиготрофном) участке Васюганского болота, что подтверждается данными, приведенными другими авторами [Бахнов, 2002; Межибор, 2009; Арбузов и др., 2009; Ляпина, 2012].

В прочих случаях (когда гидроклиматические условия и собственно болотные процессы меняются во времени) может отмечаться

более сложная картина распределения веществ в болотных водах и торфах, характеризующаяся наличием нескольких “пиков” концентраций химических элементов в компонентах болота. Примеры подобных изменений можно обнаружить, прежде всего, на олиготрофных и мезотрофных болотах на границе лесостепной и таежной зон, а также на притеррасных болотах различного типа [Savicheva, Inisheva, 2008; Савичев, Шмаков, 2012; Ляпина, 2012].

Анализ полученных результатов показал, что определение функции S по уравнению (10) и обратным расчетом по уравнению (1) позволяет получить в целом сопоставимые результаты (табл. 3, варианты II и III), но в первом случае появляется возможность учесть изменения фильтрационных свойств торфов. По этой причине при проведении

моделирования по вариантам IV–VI использовался именно этот способ.

Распространение растворенных солей по глубине торфяной залежи при разовом (аварийном) сбросе солоноватых сточных вод происходит преимущественно в деятельном горизонте (рис. 3), причем приближение к “фоновому” состоянию, предшествующему сбросу сточных вод, происходит примерно через 5 мин.

При постоянном поступлении на поверхность торфяной залежи сточных вод содержание растворенных солей достигает значения $7211,8 \text{ мг/дм}^3$ на глубине 0,2 м (уровень болотных вод) уже через две минуты, на глубине 0,5 м – через 22 мин, но дальнейшее распространение фронта загрязнения резко замедляется вследствие существенного ухудшения фильтрационных свойств торфов с глу-

Т а б л и ц а 3

Распределение суммы главных ионов в болотных водах при различных вариантах геомиграционных расчетов

Глубина, м	Вариант расчета, расчетное время – 60 с					
	I, $t = 0 \text{ с}$	II	III	IV	V	VI
0,0	7211,8	125,7	125,6	7211,8	7211,8	50,9
0,1	8,0	35,0	35,0	7211,8	7211,8	7160,8
0,2	8,0	8,2	8,2	211,5	8,1	7211,8
0,3	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7211,8
0,4	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4	7211,8
0,5	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	7211,8
0,6	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	7211,8
0,7	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	7211,8
0,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	7211,8
0,9	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	7211,8
1,0	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	7211,8
1,1	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	7211,8
1,2	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	7211,8
1,3	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	7211,8
1,4	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	7211,8
1,5	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	7211,8
1,6	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	7211,8
1,7	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	7211,8
1,8	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	7211,8
1,9	39,5	39,5	39,5	39,5	39,5	7211,8
2,0	43,5	43,5	43,5	43,5	43,5	7211,8
2,1	47,6	47,6	47,6	47,6	47,6	7211,8
2,2	51,6	51,6	51,6	51,6	51,6	7211,8
2,3	55,6	55,6	55,6	55,6	55,6	7211,8

П р и м е ч а н и е. Варианты приведены в табл. 2.

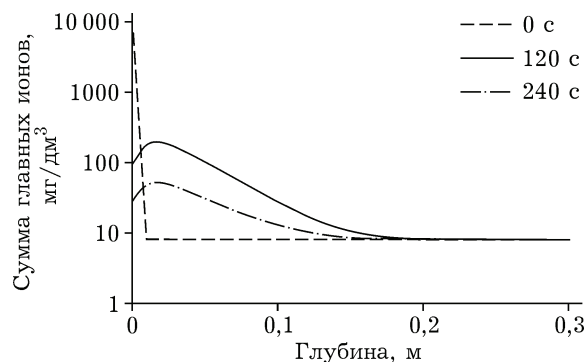


Рис. 3. Распределение суммы главных ионов в болотных водах при расчете по варианту III (см. табл. 2); в момент времени $t = 300$ с для диапазона глубин от 0,0 до 0,3 м значение Σ_{mi} составляет $8,0 \text{ мг/дм}^3$

биной, что подтверждается результатами ранее выполненных полевых исследований [Базанов и др., 2004; Савичев и др., 2013] в зоне деятельности нефтегазодобывающих предприятий Западной Сибири (табл. 4) и материалами других авторов о распределении в торфах ряда химических элементов с пиками преимущественно в верхнем полуметровом слое [Межибор, 2009; Арбузов и др., 2009]. В целом, при постоянном поступлении загрязняющих веществ на поверхность болота основная их часть распространяется преимущественно в верхнем слое толщиной около 1 м.

На практике источником загрязнения торфов и болотных вод в Западной Сибири часто являются шламовые амбары, при строительстве которых предусматривается гидроизоляционный слой из глин или суглинков. Подобное мероприятие может быть проведено и в иных случаях (например, при строительстве полигонов бытовых отходов). С учетом этого выполнен расчет распространения растворенных солей в болотных водах в

предположении, что слой торфяной залежи 0,1–0,2 м от поверхности заполнен суглинком с пористостью 10 % и коэффициентом фильтрации 10^{-6} м/с (вариант V). Следствием такого изменения свойств грунта является определенное изменение скорости и характера распространения фронта загрязнения (см. табл. 3). В частности, по сравнению с вариантом IV, в первые несколько минут после начала поступления сточных вод поле повышенных относительно “фона” концентраций более компактно, а значения Σ_{mi} в слое 0–0,2 м – заметно выше (см. табл. 3).

Еще один вариант расчета (VI) заключался в предположении, что произошло загрязнение торфяной залежи по всей глубине, а затем – постепенная промывка атмосферными осадками (слой осадков – 0,0025 м; содержание растворенных солей в которых в размере $50,9 \text{ мг/дм}^3$ принято согласно [Савичев, Иванов, 2010]). Результаты моделирования свидетельствуют о том, что снижение минерализации загрязненных вод до “фонового” уровня – процесс достаточно длительный (за пределами возможностей используемых численных методов), что подтверждается данными обследования загрязненных участков болот в Западной Сибири [Фоминих, Щербак, 2012; Bleuten et al., 1999].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана модель распространения минеральных солей в загрязненных водах олиготрофного болота, особенностью которой является оценка компонента S , характеризующего поступление вещества в болотные воды из торфов, органо-минеральных отложений и процессы его выведения из раствора, как

Т а б л и ц а 4

Химический состав вод загрязненного участка торфяного болота на территории Двуреченского месторождения*, мг/дм^3

Элемент	Интервал опробования, м от поверхности			
	0,00–0,15	0,15–0,20	0,20–0,25	0,25–0,50
Ca^{2+}	4358,7	14278,5	11573,1	1503,0
Cl^-	286,0	190,0	126,0	128,0

* [Базанов и др., 2004].

функции влажности, коэффициента влагопроводности торфа и концентрации вещества.

Геомиграционные расчеты с использованием данной модели показали, что кратковременное поступление солоноватых сточных вод (с суммарным содержанием главных ионов $7211,8 \text{ мг/дм}^3$), например, в результате локальной аварийной ситуации при добыче полезных ископаемых, не оказывает существенного воздействия на ионный состав болотных вод и ограничено деятельным горизонтом. Следствием постоянного сброса сточных вод является более значительное изменение химического состава вод, причем наибольшее загрязнение приурочено к верхнему слою толщиной до $0,5\text{--}1,0 \text{ м}$. В целом полученные данные свидетельствуют о возможности использования для расчетов распространения загрязняющих веществ плановых моделей (по поверхности болота вдоль и перпендикулярно к суходолу) для деятельного горизонта торфяной залежи.

Создание изоляционного слоя из суглинка в диапазоне глубин $0,1\text{--}0,2 \text{ м}$ от поверхности приводит к концентрированию загрязняющих веществ в деятельном горизонте, но не обеспечивает сохранение «фоновый» уровня содержания растворенных солей в нижерасположенных слоях торфяной залежи. С учетом этого при строительстве шламовых амбаров и прочих объектов, являющихся потенциальными источниками загрязнения болот, наряду с малопроницаемыми фильтрами из суглинков и глин необходимо использование материалов, обеспечивающих более надежную гидроизоляцию.

Промывка загрязненной торфяной залежи атмосферными осадками имеет место, но является весьма длительным процессом, что свидетельствует о необходимости специальных мероприятий в составе рекультивационных работ с целью усиления водообмена в торфяной залежи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-05-98045 р_сибирь_а.

ЛИТЕРАТУРА

- Арбузов С. И., Архипов В. С., Бернатонис В. К. и др. Среднее содержание некоторых элементов-примесей в торфах юго-восточной части Западно-Сибирской плиты // Изв. Том. политех. ун-та. 2009. Т. 315, № 1. С. 44–48.
- Базанов В. А., Савичев О. Г., Волостнов Д. В. и др. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган // Там же. 2004. Т. 307, № 2. С. 72–75.
- Бахнов В. К. Почвообразование. Взгляд в прошлое и настоящее. Биосферные аспекты. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 117 с.
- Емельянова Т. Я., Крамаренко В. В. Характеристики фильтрационных свойств торфов Томской области // Обской вестн. 2001. № 1. С. 36–39.
- Иванов К. Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
- Крайнов С. Р., Рыженко Б. Н., Швецов В. М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
- Лиштван И. И., Базин Е. Т., Косов В. И. Физические процессы в торфяных залежах. Минск: Наука и техника, 1989. 287 с.
- Ляпина Е. Е. Экогеохимия ртути в природных средах Томского региона: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2012. 21 с.
- Межибор А. М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2009. 22 с.
- Мелиорация и водное хозяйство / под ред. Б. С. Маслова. М.: Агропромиздат, 1985. Т. 3: Осушение. 447 с.
- Пермяков П. П., Аммосов А. П. Математическое моделирование техногенного загрязнения в криолитозоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2003. 224 с.
- Пологова Н. Н., Лапшина Е. Д. Накопление углерода в торфяных залежах Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под ред. М. В. Кабанова. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. С. 174–179.
- Природные ресурсы центральной части Западно-Сибирской равнины / под ред. Г. В. Добровольского, Е. М. Сергеева, А. С. Герасимовой. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1977. 211 с.
- Савичев О. Г., Бернатонис П. В., Бернатонис В. К. Геохимические условия размещения и утилизации отходов бурения в торфяно-болотных геосистемах Сибири // Вестн. Том. гос. ун-та. 2013. № 375. С. 183–186.
- Савичев О. Г., Базанов В. А., Харанжевская Ю. А. Гидрохимические и гидроклиматические условия функционирования болотных экосистем в таежной зоне Западной Сибири (на примере водосбора реки Клоч) // Инженерная экология. 2011. № 5. С. 52–61.
- Савичев О. Г., Шмаков А. В. Вертикальная зональность и внутригодовые изменения химического состава вод Тимирязевского болота (Томск, Западная Сибирь) // Изв. Том. политех. ун-та. 2012. Т. 320, № 1. С. 156–156.
- Савичев О. Г., Иванов А. О. Атмосферные выпадения в бассейне Средней Оби и их влияние на гидрохимический сток рек // Изв. РАН. Сер. географ. 2010. № 1. С. 63–70.
- Торфяные ресурсы Томской области. Справочник по состоянию изученности на 01.01.1998 г. Новосибирск: СНИИГГИМС, 1998. 405 с.

- Фоминых Д. Е., Щербак Г. Г. Техногенное засоление и возможности рекультивации почв на территориях нефтяных месторождений Западной Сибири // Инженерные изыскания. 2012. № 9. С. 66–71.
- Benedini M., Tsakiris G. Water Quality Modelling for River and Streams. Dordrecht: Springer, 2013. 288 p.
- Bleuten W., Lapshina E., Ivens W., Shinkarenko V., Wiersma E. Ecosystem recovery and natural degradation of spilled crude oil in peat bog ecosystems of Western Siberia // Int. Peat Journ. 1999. N 9. P. 73–82.
- Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals / ed. A. F. White, S. L. Brantley. Reviews in Mineralogy. Michigan: Book Crafters, 1995. Vol. 31. P. 23–86.
- Loucks D. P., Van Beek E. Water resources systems planning and management. An Introduction to Methods, Models and Applications. Turin: UNESCO, 2005. 680 p.
- Savicheva O. G., Inisheva L. I. Biochemical Activity of the Peat Soil of a River Marsh Ecosystem // Contemporary Problems of Ecology. 2008. Vol. 1, N 6. P. 667–673.

Distribution of Inorganic Pollutants in a Peat Deposit

O. G. SAVICHEV

*Tomsk Polytechnic University
634050, Tomsk, Lenin ave., 30
E-mail: osavichev@mail.ru*

The model of distribution of inorganic substances in the polluted waters of an oligotrophic bog was developed and geomigratory calculations were carried out on the example of the Vasyugan Bog. The inflow of industrial wastewater had affected the TDS level of the bog waters, and the most significant changes of TDS were detected in the top layer about 0.5–1.0 m in thickness. The use of loam as an insulating barrier in the active layer of the bog helps to reduce the negative impact on the waters, but does not provide the preservation of their baseline state on the lower layer.

Key words: bog waters, pollutants, geomigratory calculations.