

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ
ПРОЦЕССЫ

УДК 556.33.5

ХАРАКТЕР И СТЕПЕНЬ ТРАНСФОРМАЦИИ
ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ОДНОЙ ИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРОМПЛОЩАДОК
В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

© 2020 г. Р. Х. Мусин^{1,*}, А. Р. Галиева^{1,**}, Т. Г. Кудбанов^{1,***}

¹ Казанский федеральный университет (КФУ), ул. Кремлёвская, 18, Казань, 420111 Россия

*e-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

**e-mail: abdullina_albina94@mail.ru

***e-mail: ferrum828@gmail.com

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

Рассматриваются природно-техногенные условия одной из промплощадок современного нефтеперерабатывающего и нефтехимического предприятия в Республике Татарстан. Ее функционирование привело к подъему уровня и изменению качественных показателей грунтовых вод. В настоящее время в большей части территории глубина залегания грунтовых вод составляет менее 3 м, их минерализация может превышать 1 г/л, а жесткость достигать 18 ммоль/л. Повышение уровня грунтовых вод связано с усилением их инфильтрационного питания за счет планировки территории и неудовлетворительного состояния систем поверхностного дренажа. Дана количественная оценка этому питанию на основе обработки данных режимных наблюдений по сети наблюдательных скважин и проведения балансовых расчетов по двум изолированным блокам в центральной части промплощадки. Изменение качества грунтовых вод связано в первую очередь с усилением их углекислотной агрессивности и, соответственно, более интенсивным выщелачиванием минерального матрикса. Приводятся рекомендации по снижению уровня грунтовых вод.

Ключевые слова: промплощадка, грунтовые воды, подтопление, инфильтрационное питание, балансовые расчеты, загрязнение

DOI: 10.31857/S0869780920010130

ВВЕДЕНИЕ

К негативным факторам функционирования промышленных объектов, промплощадок, городских поселений относятся подтопление их территорий, а также загрязнение грунтовых вод. Подтопление обычно вызвано усилением питания или ухудшением условий разгрузки грунтовых вод. Оно ведет к неблагоприятным изменениям санитарно-эпидемиологической обстановки, снижению несущих свойств грунтов и т.д. [1, 2]. Выявление причин подтопления, характера и интенсивности загрязнения природных вод представляет собой весьма актуальную задачу.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования была выбрана одна из промплощадок строящегося современного предприятия нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. Начало строительства

относится к 2005 г. Первая готовая продукция была получена в 2011 г. В настоящее время на предприятии перерабатывается более 8 млн т нефти в год, а его проектная мощность — 14 млн т/год. Застроенная и функционирующая часть промышленной площадки (~2 км²) испытывает подтопление.

Промплощадка располагается в осевой части довольно крупного и пологого первично залесенного водораздела. В ненарушенных природных условиях уклон земной поверхности составлял 0.018. Верхняя часть геологического разреза сложена комплексом карбонатно-терригенных пермских платформенных отложений, которые перекрываются комплексом покровных элювиально-делювиальных четвертичных суглинков. Мощность покровных суглинков увеличивается до 15–20 м в направлении уклона земной поверхности. Подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта (в дальнейшем изложении — грунтовые воды) были локализованы в

Таблица 1. Фильтрационные и емкостные параметры верхней части разреза

Водовмещающие породы	Число ОФО	Коэффициент фильтрации, м/сут	Гравитационная водоотдача, д.е.
Суглинки насыпных грунтов	13	$\frac{0.064-0.4}{0.12}$	$\frac{0.026-0.2}{0.073}$
Четвертичные суглинки	6	$\frac{0.005-0.28}{0.14}$	0.07
Пермские глины	2	0.08	0.09
Пермские песчаники	10	$\frac{0.08-0.99}{0.33}$	$\frac{0.023-0.164}{0.10}$

Примечание. В числителе – предельные значения (минимум–максимум), в знаменателе – среднее.

пермских глинисто-песчаных породах и четвертичных суглинках. Они имели субнапорный характер. Их уровенная поверхность повторяла рельеф, глубина ее залегания в меженные периоды варьировала в пределах (1.5–2.0)–(7.0–7.5) м, при преобладающих значениях – 3–6 м. Напорный градиент составлял 0.017. Питание грунтовых вод в естественных условиях было исключительно атмосферным (инфильтрационное и конденсационное питание). Разгрузка происходила плановой фильтрацией, эвапотранспирацией и нисходящим протеканием.

Возведению промышленных объектов предшествовали вырубка леса и планировка территории. В настоящее время рельеф промплощадки представляет собой ряд субгоризонтальных поверхностей, разделенных ступенями (уступами) высотой 2–3 м. С поверхности практически повсеместно развиты слабопроницаемые насыпные грунты, основой которых являются первичные элювиально-делювиальные суглинки. Их мощность – 0.5–12 м, преобладающие значения – 2–6 м. На 2017 г. глубины залегания уровня грунтовых (УГВ) вод варьировали в пределах 0.5–9.5 м, преобладающие их значения – 1.5–3.5 м. В целом площадь участков с глубиной УГВ до 3 м составляла не менее 65–70% территории, с глубиной менее 2 м – 15–20%, а с глубиной более 4 м – около 10–12%. Последние фиксировались, в основном, по периферии промплощадки, где либо вблизи поверхности залегают мощные пачки пермских песчаников, либо существенно дренирующая роль близрасположенных оврагов (овражных ручьев). Разгрузка грунтового водоносного горизонта, как и в естественных условиях, происходит путем плановой фильтрации, испарения и нисходящего протекания.

Емкостные и фильтрационные параметры верхней части разреза по данным наливов в шур-

фы и скважины (ОФО), а также откачек из скважин приведены в табл. 1.

В пределах промплощадки действует система поверхностного дренажа. Она представлена забетонированными канавами и различными лотками. Дренажные воды отводятся на очистные сооружения, расположенные прямо на промплощадке. К сожалению, поверхностный дренаж характеризуется малым радиусом влияния, находится в неудовлетворительном техническом состоянии, а также он расположен не повсеместно. На предприятии имеется сеть режимных скважин, оборудованных на грунтовый водоносный горизонт и расположенных по периферии его функционирующей части промплощадки. Наблюдения за УГВ и х составом вод ведутся с периодичностью 4 раза в год. На предприятии внедрена система оборотного водоснабжения, очистные сооружения расположены непосредственно на промплощадке. Утечки производственных вод из водопроводов фиксируются, но точный их учет представляет значительные сложности.

Для оценки величины инфильтрационного питания грунтовых вод обработаны данные по режимным скважинам за временной период 2012–2016 гг., а также проведены балансовые расчеты по двум изолированным локальным площадкам в центральной части рассматриваемого объекта. Инфильтрационное питание (W) по наблюдаемым скважинам оценивалось по формуле:

$$W = \Delta H * \mu / \Delta t,$$

где ΔH – амплитуда подъема УГВ за время Δt (м/сут); μ – недостаток гравитационного водонасыщения.

Данная формула корректна в случае постоянства транзитного стока ($q_{\text{притока}} \approx q_{\text{оттока}}$) [3, 6].

Таблица 2. Водный баланс двух блоков в центральной части промплощадки

№ блока	Площадь, м ²	Приход воды, мм/год	Расходные статьи баланса, %		
			Испарение	Поверхностный сток (дренажная система)	Подземный сток (инф. питание)
1	63725	554.6	72.94	0.06	27
2	70118	554.6	72.8	5.5	21.7

Таблица 3. Величины инфильтрационного питания грунтовых вод по данным режимных наблюдений

№ скв.	Водовмещающие породы	μ, д.е.	Инфильтрационное питание	
			в виде слоя воды, мм/год	в % от нормы осадков
10	Четвертичные суглинки	0.07	178.5	32.0
11	Четвертичные суглинки	0.07	154.0	27.8
12	Пермские глины и песчаники	0.09	194.4	34.9
13	Пермские песчаники	0.1	144.0	26.1
14	Четвертичные суглинки	0.07	93.0	23.5

Примечание. Номера скважин – условные, μ – на основе данных наливов в шурфы.

Балансовые расчеты проведены на основе методики ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева¹. Основными рассчитываемыми параметрами были величины поверхностного стока и испарения (табл. 2).

Изменение состава грунтовых вод в пределах промплощадки определено по анализу гидрогеохимических особенностей во временном диапазоне 1979 г. (проведение гидрогеологической съемки масштаба 1:200000) – 2005–2008 гг. (вырубка леса и начало строительства различных объектов) – 2017 г. (период проведения авторами гидрогеологических исследований).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основная причина подъема УГВ (в среднем на 1–3 м относительно природных условий) и их преобладающее залегание на глубинах до 3 м является следствием усиления инфильтрационного питания и наличием слабопроницаемых грунтов в разрезе. Усиление питания на первых этапах функционирования промплощадки было связано с вырубкой леса (уменьшение эвапотранспирации), планировкой территории (ликвидация поверхностного стока) и длительным существованием отдельных строительных котлованов и канав. Впоследствии за счет подъема уровня

усилилось испарение, которое вероятно компенсировало былую эвапотранспирацию, но нормально функционирующий поверхностный сток до сих пор не организован. Величина поверхностного стока в природных условиях, подобных условиям залесенного пологого водораздела, существовавшего на месте промплощадки должна составлять 10–15% от годовой нормы осадков. Большая часть этого поверхностного стока на промплощадке переведена в подземный сток (инфильтрационное питание).

Величина инфильтрационного питания грунтовых вод на одном из близрасположенных к промплощадке объектов, в сходных природных условиях составляла 12.2% от годовой нормы осадков в 554.6 мм/год. При этом общее количество эффективных осадков оценивалось в 14.3% (2.1% от нормы осадков в приводораздельной части склонов шло на питание второго от поверхности водоносного горизонта (комплекса)) [4, 5]. Добавление к этой величине еще 5–15% от нормы осадков (первичного поверхностного стока) как раз и должно вызвать наблюдаемые изменения в положении уровней подземных вод. Кроме этого, дополнительным питанием являются и утечки сточных вод. Доказательством таких утечек служит трансформация гидрогеохимического поля, но точную величину таких утечек выявить пока очень сложно. Величина современного инфильтрационного питания грунтовых вод на промплощадке составляет 22–35% от нормы осадков (табл. 2, 3).

¹ СТП ВНИИГ 210.01.НТ-05 Методика расчета гидрологических характеристик техногенно-нагруженных территорий. СПб.: ВНИИГ, 2005. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293810/4293810427.pdf>

Таблица 4. Изменение во времени состава грунтовых вод промплощадки

Период времени	Число проб	Минерализация, мг/л	Жесткость, ммоль/л	Окисляемость, мгО/л	Нефтепродукты, мг/л	Преобладающий тип воды
1979 г.	7	$\frac{450-582}{516.3 \pm 47.7}$	$\frac{3.6-5.67}{4.56 \pm 0.70}$	$\frac{1.0-2.6}{1.83 \pm 0.49}$	—	HCO ₃ /Ca HCO ₃ /Na—Ca
2005–2008 гг.	21	$\frac{352-681}{530 \pm 93}$	$\frac{3.58-7.96}{5.94 \pm 1.30}$	—	—	HCO ₃ /Ca HCO ₃ /Na—Ca
2017 г.	31*	$\frac{264-1249}{772 \pm 232}$	$\frac{3.56-17.74}{10.02 \pm 3.63}$	$\frac{1.28-17.28}{5.39 \pm 3.59}$	$\frac{0.008-0.13}{0.045 \pm 0.033}$	HCO ₃ /Ca Cl—HCO ₃ /Ca HCO ₃ /Mg—Ca
2017 г.	6**	$\frac{390-681}{560.7 \pm 119}$	$\frac{5.08-9.76}{7.51 \pm 2.01}$	$\frac{1.92-4.12}{3.48 \pm 0.82}$	—	HCO ₃ /Ca HCO ₃ /Mg—Ca

Примечание. В числителе — предельные значения (минимум, максимум), в знаменателе — среднее и стандартное отклонение; * — первый от поверхности водоносный горизонт; ** — второй от поверхности водоносный горизонт; прочерк — показатель не определялся.

Средние величины инфильтрационного питания грунтовых вод, локализованных в пермских породах, по данным режимных наблюдений (в % от нормы осадков) — 30.5, а в покровных четвертичных суглинках — 27.8.

Грунтовые воды промплощадки претерпели некоторые изменения своего состава (табл. 4). Увеличение минерализации связано с концентрированием почти всех макро- и мезокомпонентов, а также Fe и Mn. Так содержания некоторых компонентов могут достигать (мг/л): HCO₃⁻ — 879; Cl⁻ — 267; SO₄²⁻ — 126; NO₃⁻ — 141; Br⁻ — 0.81; Fe — 4.16; Mn — 3.0. Подобная картина обусловлена локально проявленными утечками из многочисленных водоводов, аэрогенным загрязнением территории, а также более интенсивным выщелачиванием минерального матрикса подземными водами, которые приобрели большую углекислотную агрессивность за счет хемо- и биодеструкции органического вещества.

ВЫВОДЫ

Основной причиной подтопления промплощадки является усиление инфильтрационного питания грунтовых вод. Даже не совсем хорошо функционирующий поверхностный дренаж перехватывает 5.5% от нормы осадков. Наиболее эффективный способ понижения уровня грунтовых вод — реконструкция существующей системы поверхностного дренажа с дополнительной планировкой территории для увеличения его эффективности и создания новых дренажных линий (система поверхностного дренажа играет роль природного поверхностного стока), так как практически все виды подземного дренажа в условиях слабопроницаемых грунтов малоэффективны. Реализация этих мероприятий, при несуществен-

ном объеме утечек производственных вод, позволит снизить уровень грунтовых вод до значений, фиксировавшихся в природных ненарушенных условиях. Грунтовые воды в пределах промплощадки будут всегда иметь повышенную минерализацию, даже при гипотетической ликвидации всех возможных утечек из водоводов. Это связано с аэрогенным загрязнением поверхности, в котором принимает участие и органическое вещество, деструкция которого сопровождается выделением углекислого газа, что будет обуславливать повышенную углекислотную агрессивность вод зоны аэрации и грунтовых вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцилов В.Е. Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. М.: Недра, 1984. 160 с.
2. Дегтярев Б.М. Дренаж в промышленном и гражданском строительстве. М.: Стройиздат. 1990, 238 с.
3. Лебедев А. В. Оценка баланса подземных вод. М.: Недра, 1989. 174 с.
4. Мусин Р.Х., Курлянов Н.А., Калкаманова З.Г. О буферных свойствах подземной гидросферы в районах полигонов промышленных отходов // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Вып. 18. Матер. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии. инженерной геологии и гидрогеологии (24–25 марта 2016 г.). М.: РУДН, 2016. С. 520–525.
5. Мусин Р.Х., Мусина Р.З. О влиянии на гидролитосферу полигонов захоронения промышленных отходов // Недропользование XXI век. 2014. № 1 (45). С. 84–87.
6. Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2003. 176 с.

TYPE AND DEGREE OF HYDROGEOECOLOGICAL CONDITIONS TRANSFORMATION AT AN INDUSTRIAL FACILITY IN TATARSTAN

R. Kh. Musin^{a,#}, A. R. Galieva^{a,##}, and T. G. Kudbanov^{a,###}

^a Kazan Federal University, ul. Kremlevskaya 18, Kazan, 420111 Russia

[#]e-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

^{##}e-mail: abdullina_albina94@mail.ru

^{###}e-mail: ferrum828@gmail.com

The article discusses the natural-technogenic conditions of one of the industrial sites at the modern oil refining and petrochemical enterprise in the Republic of Tatarstan. Its functioning led to a rise in the groundwater level and to a change in the water quality indicators. Currently, over most of the territory, the depth of groundwater is less than 3 m, with water salinity exceeding 1 g/l and its hardness up to 18 mmol/l. A groundwater level rise is associated with intensifying their infiltration recharge due to the territory levelling and the unsatisfactory condition of surface drainage systems. A quantitative assessment of this recharge is given on the basis of processing data of operational observations over a network of observation wells and carrying out balance calculations for two isolated blocks in the central part of the industrial site. The change in the quality of groundwater is primarily associated with an increase in their carbon dioxide aggressiveness and consequently a more intensive leaching of the mineral matrix. Recommendations for lowering the groundwater level are provided.

Keywords: industrial site, groundwater, flooding, infiltration nutrition, balance sheet calculations, pollution

REFERENCES

1. Anpilov, V.Ye. *Formirovanie i prognoz rezhima gruntovykh vod na zastraiyaemykh territoriyakh* [Formation and forecast of groundwater regime in built-up areas]. Moscow, Nedra, 1984, 160 p. (in Russian)
2. Degtyarev, B.M. *Drenazh v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve* [Drainage in industrial and civil engineering]. Moscow, Stroizdat, 1990, 238 p. (in Russian)
3. Lebedev, A.V. *Otsenka balansa podzemnykh vod* [Assessment of groundwater balance]. Moscow, Nedra, 1989, 174 p. (in Russian)
4. Musin, R.Kh., Kurlyanov, N.A., Kalkamanova, Z.G. *O bufernykh svoistvakh podzemnoi gidrosfery v raionakh poligonov promyshlennykh otkhodov* [On the buffer properties of the underground hydrosphere in the areas of industrial waste landfills]. Sergeevskie Readings. Engineering geology and geoecology. Fundamental problems and applied tasks. vol. 18. Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology (March 24–25, 2016). Moscow, RUDN Publ., 2016, pp. 520–525. (in Russian)
5. Musin, R.Kh., Musina, R.Z. *O vliyaniy na gidrolitosferu poligonov zakhoroneniya promyshlennykh otkhodov* [On the impact on the hydrolyte sphere of landfills for the disposal of industrial waste]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, 2014, no. 1 (45), pp. 84–87. (in Russian)
6. Shestakov, V.M., Pozdnyakov, S.P. *Geogidrologiya* [Geohydrology]. Moscow, IKC Akademkniga, 2003, 176 p. (in Russian).