

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛЕВОГО СТОКА МАЛЫХ РЕК ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ



А. О. ВОРОБЬЕВА,
старший научный
сотрудник



А. С. МАКАШОВА,
научный сотрудник,
al.makashova@gmail.com



Т. И. ПРОКОФЬЕВА,
доцент, канд. геогр.
наук, Российский
государственный
гидрометеорологический
университет, Санкт-
Петербург, Россия

АО «ВНИИ Галургии»,
Санкт-Петербург, Россия

Введение

Проблема оценки экологического состояния малых рек — одна из важнейших в современной гидрологии. Различным аспектам ее решения посвящено большое число работ, как регионального масштаба [1–4], так и рассматривающих широкий круг вопросов, связанных с формированием химического режима поверхностных вод в природных и техногенно нарушенных условиях и методами оценки состояния малых рек [5–7].

Регулярные гидрологические наблюдения на малых реках бассейна р. Камы, которые находятся в зоне потенциального влияния промышленных объектов калийного производства, осуществляются уже почти 20 лет. Они включают в себя измерения расходов воды и гидрохимическое опробование, проводимые четыре раза в год в характерные фазы водности по режимной сети гидропостов. При составлении программы наблюдений были определены цели исследований, обязательно предваряющие, как это показано в [8], реализацию любой программы для получения информации о состоянии водотоков. Общий принцип размещения гидропостов заключается в том, что они располагаются выше и ниже по течению относительно основных источников загрязнения. В работе [9] приведена информация о составе режимной сети ПАО «Уралкалий».

Слабым местом существующей системы наблюдений за водным и гидрохимическим режимами поверхностных водотоков является недостаточная периодичность наблюдений, далекая от той, что рекомендуется действующими Указаниями [10]. Поэтому получаемая ежегодно информация используется главным образом для выявления общих тенденций изменения состояния контролируемых рек, а при негативном развитии ситуации — для обоснования программ исследований конкретных участков и разработки природоохранных мероприятий. В то же время имеющийся массив накопленной гидрологической информации и многолетний опыт ее использо-

Приведены результаты проведенных в последние годы прикладных исследований в бассейнах ряда рек. Обоснованы приемы и методы обработки гидрологической информации, которые позволили существенно повысить информативность данных о расходах воды рек и их химическом составе, получаемых в процессе режимных (четырёх срочных) наблюдений. Представленные материалы могут быть полезны и интересны в части, касающейся методологии использования ограниченных исходных данных о водном и гидрохимическом режимах малых рек для оценки их экологического состояния и решения ряда прикладных задач.

Ключевые слова: режимная сеть, гидропосты, поверхностные водотоки, гидрохимический режим, шламохранилище, солевой сток.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.08>

вания позволили решить ряд конкретных задач, содержание которых выходит за рамки простой констатации фактов.

Результаты прикладных исследований в бассейнах рек и методы обработки гидрологической информации

Наиболее простой и наглядный способ обобщения гидрологической информации — построение зависимостей минерализации воды M от расхода Q . Существование подобных зависимостей связано с сезонными и многолетними изменениями водности рек, которые происходят под влиянием соответствующей вариации природных факторов. Сезонные колебания стока рек накладываются на многолетние. В относительно маловодные годы уровень водности закономерно уменьшается относительно среднемноголетних значений, в многоводные — увеличивается. Соответственно изменяется соотношение между источниками питания рек: в засушливые периоды повышается доля подземной составляющей, а в годы и сезоны повышенной увлажненности — атмосферной. В результате в водном режиме природных водотоков прослеживается закономерная связь с метеорологическими условиями, а в гидрохимическом — обнаруживается значимая степенная зависимость между M и Q [11]. Нарушение этой зависимости связано с действием техногенных факторов. Повышение уровня засоления речных вод, фиксируемое одновременно с увеличением водности, как правило, является следствием увеличения техногенного питания реки. Проявляется эта закономерность главным образом в гидрохимическом режиме речных вод на тех участках, в пределах водосборных площадей которых находятся объекты наземного складирования отходов калийного производства.

По данным наблюдений всех гидропостов режимной гидрологической сети были построены зависимости. Как правило, для фоно-

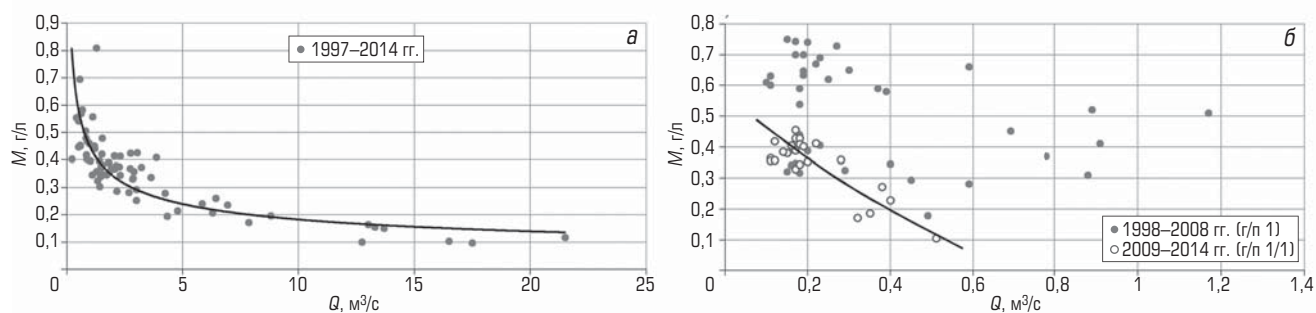


Рис. 1. Зависимость минерализации воды M от расхода Q :
 а — р. Усолка (гидропост 7); б — р. Волим (гидропосты 1, 1/1)

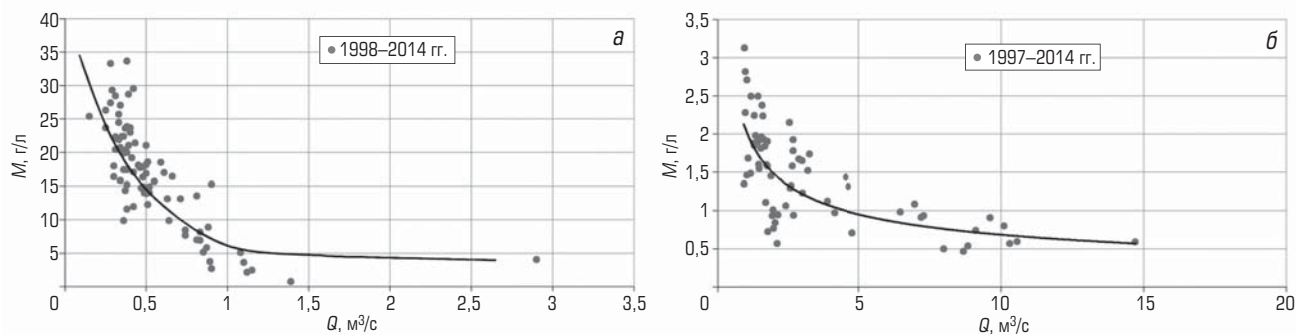


Рис. 2. Зависимость минерализации M рек Лёнвы (а) и Зырянки (б) от расхода Q

вых пунктов эти зависимости близки к природным и характеризуются небольшим разбросом точек на графиках $M = f(Q)$ (рис. 1, а). В то же время результаты наблюдений фоновых гидропостов 1 и 1/1 на р. Волим, демонстрируют заметный разброс точек Q и M (см рис. 1, б). Это явилось основанием для переноса наблюдательного пункта на участок реки, больше соответствующий природным условиям формирования стока. В 2009 г. фоновый гидропост 1/1 был перенесен на 50 м выше по течению, что сказалось, как на характере связи M и Q , (она стала более устойчивой), так и на показателях гидрохимического режима: значения минерализации воды в меженные периоды не превышают 0,35–0,45 г/л, тогда как опробования в створе гидропоста 1 показывали более высокие значения (0,6–0,75 г/л).

Анализ материалов, полученных по гидропостам, расположенным в зоне влияния накопителей солеотходов, позволил выявить несколько принципиально разных ситуаций, связанных с особенностями формирования гидрохимического режима водотоков, и оценить экологическое состояние контролируемых объектов гидросети. Для целого ряда участков рек установлен повышенный уровень засоления. При этом зависимость $M = f(Q)$ имеет устойчивый характер, как, например, для р. Лёнвы в замыкающем створе (гидропост 5, БКПРУ-3) или р. Зырянки (гидропост 1, БКПРУ-1), что свидетельствует об установившемся гидрохимическом режиме соответствующих участков рек и об уровне техногенной нагрузки (рис. 2). Точки на графиках $M = f(Q)$ показывают в целом общую тенденцию уменьшения минерализации воды по мере увеличения расхода, но иногда они отклоняются от аппроксимирующей кривой в

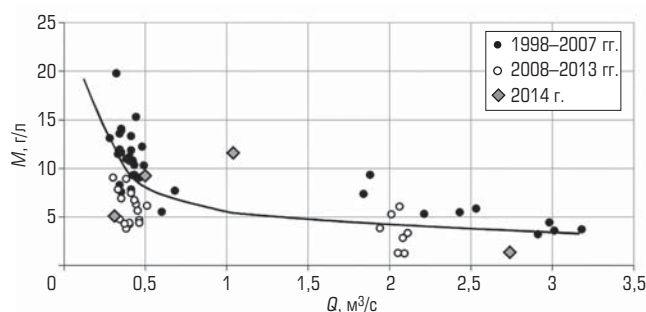


Рис. 3. Зависимость минерализации M р. Волим от расхода Q

область либо более высоких значений M и Q , либо более низких. Первое свидетельствует о появлении дополнительных источников поступления засоленной воды, второе — о сокращении техногенного питания. При выявлении фактов увеличения техногенной нагрузки на водотоки соотношение между средними многолетними значениями расходов воды $Q_{ср}$ и минерализации $M_{ср}$, снятыми с кривой $M = f(Q)$, и данными за соответствующие сроки наблюдений позволяет количественно оценить минерализацию и расход воды техногенных источников.

В качестве примера использования указанных зависимостей можно привести данные по р. Волим за 1998–2014 гг. (гидропост 2, БКПРУ-3), приведенные на рис. 3. В период 1998–2007 гг. связь между расходом и уровнем воды была сравнительно устойчивой, что свидетельствует об установившемся гидрохимическом режиме реки.

Результаты расчета расхода солей S по створам рек Зырянка и Лёнва по данным многолетних наблюдений за расходом Q и минерализацией воды M

Водоток	Номер гидропоста	Q , м ³ /с	M , г/л	S , кг/с
<i>Летне-осенняя межень</i>				
Р. Зырянка	7	2,10	0,39	0,82
	7'	2,28	0,71	1,62
	7''	2,50	0,80	2,00
<i>Зимняя межень</i>				
Р. Зырянка	7	1,41	0,50	0,70
	7'	1,61	1,13	1,82
	7''	1,78	1,27	2,26
<i>Летне-осенняя межень</i>				
Р. Лёнва	3	0,0465	6,3	0,29
Безымянный ручей	4	0,0110	2,1	0,023
Безымянный ручей	14	0,0116	8,6	0,10
<i>Зимняя межень</i>				
Р. Лёнва	3	0,0484	10,1	0,49
Безымянный ручей	4	0,0124	4,0	0,05
Безымянный ручей	14	0,0081	5,1	0,04
<i>Весеннее половодье</i>				
Р. Лёнва	3	0,1100	2,6	0,29
Безымянный ручей	4	0,0210	1,9	0,04
Безымянный ручей	14	0,0200	1,2	0,02

Начиная с 2008 г. и до 2013 г. наблюдается отклонение точек графика $M = f(Q)$ в область меньших значений M , что указывает на снижение техногенной нагрузки на реку в этот период.

Информация, получаемая по сети гидропостов, используется не только для оценки состояния объектов поверхностной гидросферы, но и является основой для количественной оценки объемов фильтрационных/дренажных рассолов, поступающих в них из шламохранилищ. Суммарные потери рассолов, в соответствии с действующими инструкциями, оцениваются методом водного баланса, а та доля, которая разгружается в местную гидросеть, рассчитывается методом солевого баланса участков рек, на которых эта разгрузка происходит. Наиболее сложно эта задача решается в ситуации, когда фильтрационные/дренажные рассолы от одного источника поступают в разные водотоки, как, например, это имеет место для рек Зырянка и Лёнва, в которые разгружаются рассолы из шламохранилища БКПРУ-2.

Подземные воды, питающие реки Зырянка и Лёнва, приурочены к аллювиальным отложениям четвертичного возраста и отложениям уфимского яруса (P1u) шешминского и соликамского горизонтов [12]. Их минерализация не превышает 0,3–0,4 г/л. Влияние источников техногенного питания накладывается на сезонные изменения M , поэтому расчет солевого баланса для участков рек должен осуществляться с учетом соответствующих изменений M и Q .

Оценку соотношения между объемами фильтрационных/дренажных рассолов, поступающих из шламохранилища в реки Зырян-

ка и Лёнва, выполняли на основе данных о расходах и минерализации воды указанных рек. На р. Зырянке систематические четырехсрочные режимные наблюдения за составом и расходами воды проводятся с 1998 г. в створе гидропоста 7'. Во время летне-осенней межени с 2000 г. в рамках программы мониторинговых наблюдений измерения расхода воды и гидрохимическое опробование осуществляли на р. Зырянке в двух дополнительных створах: гидропоста 7 (непосредственно ниже Верхне-Зырянковского водохранилища) и гидропоста 7'' (у дер. Суханово, выше Семинского пруда). Режимная сеть гидропостов в бассейне р. Лёнвы также функционирует с 1998 г. и состоит из четырех пунктов наблюдений: гидропосты 2, 3 — на р. Лёнве и 4, 14 — на ее притоках — безымянных ручьях. Периодичность наблюдений та же, что и на р. Зырянке.

Для количественной оценки объемов водного стока за конкретный год (по четырех срочным наблюдениям) выполнен анализ региональных и местных особенностей формирования речного стока. Объем водного стока рассчитывали по фазам водного режима как средний за 2000–2010 гг. — период, включающий в себя по три маловодных и многоводных года и четыре года средней водности. Из региональных закономерностей выделены следующие. Малые реки зоны избыточного увлажнения, в том числе реки Зырянка и Лёнва, значительную часть годового питания получают в весенний период за счет талых (56 % годового питания) и дождевых (20 %) вод. Таким образом, на долю подземных вод приходится не более 1/4 части того питания, за счет которого формируется годовой речной сток в природных условиях [13]. В холодный период (ноябрь – март) питание рек обеспечивается только подземными водами. Весной (апрель – май) подъем уровня воды рек происходит быстрее, чем уровня подземных вод, поэтому подземное питание уменьшается в среднем для региона до 14 % сезонного стока. В летне-осенний период (июнь – октябрь) доли атмосферных осадков и подземных вод в питании рек становятся соизмеримыми (55 и 45 % соответственно) [13]. Приведенные цифры показывают, что при расчете объемов сезонного стока наиболее высокие требования предъявляются к оценке средних значений расходов воды летне-осенней и зимней межени, когда реки получают от 45 до 100 % подземного питания.

Анализ особенностей водного и гидрохимического режимов рек Зырянка и Лёнва позволил дать оценки средних многолетних значений расходов и минерализации воды (по сезонам года) и использовать результаты расчета для выделения в речном стоке техногенной составляющей. Проверку на однородность рядов гидрологических и гидрохимических данных выполняли с помощью критериев Фишера и Стьюдента, в соответствии с рекомендациями, приведенными в [14], и опытом анализа подобной информации, исходя из стохастического характера процессов формирования водного и гидрохимического режимов рек [15, 16]. Результаты проверки показали однородность рядов при 10%-ном уровне значимости.

Наиболее заметное увеличение минерализации воды р. Зырянки происходит на участке, расположенном между Верхне-Зырянковским водохранилищем (створ гидропоста 7) и створом гидропоста 7'. Здесь сказывается влияние на состояние воды р. Зырянки фильтрационных/дренажных рассолов шламохранилища

БКПРУ-2. Створ гидропоста 7' находится в пределах ореола засоления подземных вод, формирующегося со стороны шламохранилища. За пределами нижней границы ореола засоления находится створ гидропоста 7".

Для установления роли фильтрационных/дренажных рассолов шламохранилища БКПРУ-2 в солевом стоке р. Зырянки выполнена оценка солевого стока, формирующегося на верхнем участке р. Зырянки; прироста солевого стока на участках между гидропостами 7 и 7' и гидропостами 7' и 7".

Оценку объема рассолов, поступающих из шламохранилища БКПРУ-2 в р. Лёнву, осуществляли по данным наблюдений за расходами и минерализацией воды в створе гидропоста 3, с учетом того количества солей, которые поступают в р. Лёнву со стоком ручьев (гидропосты 4 и 14), формирующихся без участия фильтрационных/дренажных рассолов. Средние за период одновременных наблюдений (2000–2010 гг.) значения минерализации и расходов воды и солей по гидропостам на реках Зырянке и Лёнве приведены в **таблице**. В качестве оценки количества солей, поступающих с верхнего участка реки, принято среднее значение расхода солей S в створе гидропоста 7. Прирост солевого стока в створе гидропоста 7' следует отнести на счет влияния фильтрационных/дренажных рассолов.

Задав значения минерализации рассолов ($M_p = 300$ г/л) и подземных вод ($M_e = 0,4$ г/л), а также имея значения $\Delta S_{r/n 7 - r/n 7'}$ и $\Delta Q_{r/n 7 - r/n 7'}$, для отдельных фаз водного режима, можно составить простую систему уравнений, решение которой позволяет определить расход рассолов Q_p , поступление которых в р. Зырянку является причиной наблюдающегося повышения минерализации речной воды в соответствующую фазу режима:

$$Q_p M_p + Q_e M_e = \Delta S_{r/n 7 - r/n 7'};$$

$$Q_p + Q_e = \Delta Q_{r/n 7 - r/n 7'}$$

Для участка р. Зырянки между гидропостами 7' и 7" расчет величины Q_p осуществляется аналогично по соответствующим значениям S и Q , приведенным в таблице.

Влияние шламохранилища на солевой сток р. Лёнвы оценивается по значениям $Q_{r/n 3}$ и $S_{r/n 3}$, из которых вычитаются соответствующие величины расходов воды и солей по наблюдениям в створах гидропостов 4 и 14 (см. таблицу).

Суммарное за год поступление дренажных рассолов в р. Лёнву составляет в среднем 27,9 тыс. м³ в год, в р. Зырянку — 120 тыс. м³. Таким образом, в исследуемые реки в среднем за многолетний период разгружается 147,9 тыс. м³ рассолов ΣV_p , которые распределяются между бассейнами рек Лёнва и Зырянка в соотношении 1:4.

Достоверность полученного результата можно оценить, сравнив его со значениями ΣV_p , рассчитанными методом водного баланса шламохранилища. По данным за 2010 г., эта величина составляет 184 тыс. м³ в год, т.е. значение того же порядка, что позволяет для оценки соотношения между объемами рассолов, поступающих в реки Зырянку и Лёнву, использовать приведенный выше результат. В то же время очевидно, что в условиях ограниченной информации о расходах и минерализации воды, для расчета абсолютных значений ΣV_p предпочтительнее применять метод водного баланса, как это рекомендуется действующими инструкциями.

Выводы

Приведенные материалы гидрологических исследований и предлагаемые подходы к ее использованию показали, что существующая сеть гидропостов ПАО «Уралкалий» позволяет получать информацию о текущем состоянии рек и ручьев, определять тенденции изменения их гидрохимического режима, решать ряд важных задач, таких, как выявление дополнительных источников техногенного питания на отдельных участках рек и расчет объемов стока дренажных/фильтрационных рассолов со стороны шламохранилищ методом солевого баланса. Получаемая информация находит свое применение при моделировании процессов разгрузки техногенных рассолов в поверхностную гидросеть [17], при планировании природоохранных мероприятий, направленных на снижение уровня техногенной нагрузки на водоёмы и водотоки.

Библиографический список

1. Rollin Jerome. La protection des petites rivières periurbaines dans les Bouches-du-Rhône depuis les années 1960: une analyse de la construction locale de la norme environnementale // *Geocarrefour*. 2010. Vol. 85. No 3. P. 229–240.
2. Ormerod S. J., Gee A. S. Chemical and ecological evidence on the acidification of Wells lakes and rivers // *Acid Water Wales* / Eds.: R. W. Edwards, A. S. Gee, J. H. Stoner. 1990. Vol. 66. P. 11–25.
3. Курамшин Э. М., Имашев У. Б., Курамшина Н. Г., Нуртединова Э. Э. Гидрохимия малых рек Камского бассейна в зоне влияния объектов нефтедобычи // *Башкирский химический журнал*. 2014. Т. 21. № 2. С. 88–93.
4. Китаев А. Б. Качество воды малых рек г. Перми // *Современные наукоемкие технологии*, 2010. № 10. С. 215–217.
5. Brezonik P., Arnold W. *Water Chemistry: An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems*. — Oxford University Press, 2011. — 809 p.
6. Trinh D. H., Chul F. M. Assessing the hydrological restoration of an urbanised area via an integrated distributed hydrological model // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013. Vol. 17. Iss. 12. P. 4789–4801. doi:10.5194/hess-17-4789-2013.
7. Skeffington R. A., Halliday S. J., Wade A. J., Bowes M. J., Loewenthal M. Using high-frequency water quality data to assess sampling strategies for the EU Water Framework directive // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2015. Vol. 19. Iss. 5. P. 2491–2504. doi:10.5194/hess-19-2491-2015.
8. Still T. D. Data and information aspect of modeling // *Proceedings IUFRO Workshop on Water and Nutrient Simulation Models*. Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf, 1979. No. 1. P. 21–28.
9. Липницкий В. К., Копштаев В. П., Прокофьева Т. И., Алексеев В. Н., Сандаков В. Т., Пересада В. И. Экологический мониторинг природных вод при складировании отходов калийного производства на Верхнекамском месторождении // *Актуальные вопросы добычи и переработки природных солей* : Труды ВНИИГ. — СПб.: ИИА «Лиж», 2001. Т. 1. С. 115–123.
10. СН 371-67. Указания по определению расчетных величин годового стока и его внутригодового распределения. — Л.: Гидрометеоиздат, 1968.
11. Бродская Н. А., Виноград Н. А., Воробьева А. О., Павлов А. Н., Прокофьева Т. И., Сапачев Р. Ю., Трофимов В. И. Особенности экологического мониторинга для территорий с повышенной техногенной нагрузкой. — СПб.: Изд-во РГГМУ, 2009. — 272 с.
12. *Гидрогеология СССР*. — М.: Недра, 1972. Т. IV: Урал. С. 80–87.
13. *Ресурсы поверхностных вод СССР*. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973. Т. 11: Средний Урал и Приуралье.
14. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным. — СПб.: Изд. Нестор-История, 2010. — 162 с.
15. Коваленко С. Н. Регулирование водного и биогенного баланса малых рек при освоении водосбора : автореф. дис. ... докт. техн. наук. — СПб., 2011. — 36 с.
16. Lawrence K. Assessment of Key Processes Affecting Vertical Transport of Brines in Low Permeability Till Beneath the Potash Salt Piles // *GeoConvention (Canada)*. 2010. No. 5. P. 12–18.
17. Макашов С. Э. Установление закономерностей фильтрации рассолов для решения проблем загрязнения природных вод на Верхнекамском месторождении калийных солей : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — СПб., 2012. — 20 с. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 44–48
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.08>

Research of saline runoff for smaller rivers in the Upper Kama deposit of potassium-magnesium salts

Information about author

A. O. Vorobiova¹, Senior Researcher

A. S. Makashova¹, Researcher, al.makashova@gmail.com

T. I. Prokofieva², Associate Professor, Candidate of Geographic Sciences

¹ VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

² Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Abstract

In small rivers of Kama river basin which are in the zone of potential influence from industrial facilities of potash production for nearly 20 years already are being made regular hydrological observations. They involve measuring of water flow rates and hydro-chemical testing. The weak point in the existing observation system over water and hydro-chemical modes (regimes) of surface watercourses is the insufficient (four times a year) periodicity of the observations. At the same time the available database of accumulated hydrological information and long-term experience in its use and analysis enabled us to solve a number of specific problems related to assessment of environmental condition of rivers and brooks, finding of sources for anthropogenic feeding, establishing of trends in changing of hydro-chemical mode of watercourses, calculations of saline balance for particular areas of rivers to evaluate volumes of anthropogenic brines incoming into them.

This paper gives short presentation of results for some applied research conducted in recent years in the basins of several rivers, as well as justifies the techniques and methods for processing of hydrological information that enabled to significantly increase the informative value of data about the flow rates of river water and its chemical composition received during the standard (four regular) observations. In particular, here are shown the results received on the relationships between mineralization and water flow rates, as well as migration curves of macro-component composition for river water(s). Submitted materials may be useful and interesting, first of all, insofar as it refers to the methodology of using limited initial data about water and hydro-chemical modes (regimes) of small rivers for evaluation of their environmental condition (state) and solving some applied problems.

Keywords: Situation observing network, hydrological posts, surface watercourses, hydro-chemical mode, sludge storage, migration curves, saline run-off

References

1. Rollin Jerome. La protection des petites rivières periurbaines dans les Bouches-du-Rhone depuis les années 1960: une analyse de la construction locale de la norme environnementale. *Geocarrefour*. 2010. Vol. 85, No. 3. pp. 229–240.
2. Ormerod S. J., Gee A. S. Chemical and ecological evidence on the acidification of Wells lakes and rivers. *Acid Water Wales*. Editors: R. W. Edwards, A. S. Gee, J. H. Stoner. 1990. Vol. 66. pp. 11–25.
3. Kuramshin E. M., Imashev U. B., Kuramshina N. G., Nurtedinova E. E. *Gidrokimiya malykh rek Kamskogo basseina v zone vliyaniya obektov nefte dobychi* (Hydrochemistry of small rivers in Kama river basin in the zone of influence of petroleum production facilities). *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal = Bashkir Chemical Journal*. 2014. Vol. 21, No. 2. pp. 88–93.
4. Kitaev A. B. *Kachestvo vody malykh rek goroda Permi* (Water quality in small rivers of Perm). *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*. 2010. No. 10. pp. 215–217.
5. Brezonik P., Arnold W. *Water Chemistry: An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems*. Oxford University Press, 2011. 809 p.
6. Trinh D. H., Chul F. M. Assessing the hidrologie restoration of an urbanised area via an integrated distributed hydrological model. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2013. Vol. 17, Iss. 12. pp. 4789–4801. doi:10.5194/hess-17-4789-2013
7. Skeffington R. A., Halliday S. J., Wade A. J., Bowes M. J., Loewenthal M. Using high-frequency water quality data to assess sampling strategies for the EU Water Framework directive. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2015. Vol. 19, Iss. 5. pp. 2491–2504. doi:10.5194/hess-19-2491-2015
8. Still T. D. Data and information aspect of modeling. *Proceedings IUFRO Workshop on Water and Nutrient Simulation Models*. Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf, 1979. No. 1. pp. 21–28.
9. Lipnitskiy V. K., Kopshtalev V. P., Prokofeva T. I., Alekseev V. N., Sandakov V. T., Peresada V. I. *Ekologicheskiy monitoring prirodnykh vod pri skladirovanii otkhodov kaliynogo proizvodstva na Verkhnekamskom mestorozhdenii* (Environmental monitoring of natural waters during the storage of potassium production wastes at the Upper Kama deposit). *Aktualnye voprosy dobychi i pererabotki prirodnykh soley : sbornik trudov VNII Galurgii* (Urgent problems in mining and processing of natural salts : Proceedings of VNIIG). Saint Petersburg : Lik, 2001. Vol. 1. pp. 115–123.
10. *CH 371-67. Ukazaniya po opredeleniyu rashchetnykh velichin godovogo stoka i ego vnutrigodovogo raspredeleniya* (CH 371-67. Guidelines for determination of design values for annual run-off and its intra-annual distribution). Leningrad : Gidrometeoizdat, 1968. (in Russian)
11. Brodskaya N. A., Vinograd N. A., Vorobeva A. O., Pavlov A. N., Prokofeva T. I., Sapachev R. Yu., Trofimov V. I. *Osobennosti ekologicheskogo monitoringa dlya territoriy s povyshennoy tekhnogennoy nagruzkoy* (Peculiarities in environmental monitoring at the territories with increased anthropogenic impact). Saint Petersburg : Publishing House of Russian State Hydrometeorological University, 2009. 272 p.
12. *Gidrogeologiya SSSR* (Hydrogeology of the USSR). Tom IV: Ural (Volume IV: Ural). Moscow : Nedra, 1972. pp. 80–87. (in Russian)
13. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* (Resources of surface waters in the USSR). Tom 11: Sredniy Ural i Priural (Vol. 11. Middle Urals and Transurals). Leningrad : Gidrometeoizdat, 1973. (in Russian)
14. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke odnorodnosti gidrologicheskikh kharakteristik i opredeleniyu ikh rashchetnykh znacheniy po neodnorodnym dannym* (Methodological recommendations on uniformity assessment in hydrological characteristics and determination of their design values by non-uniform data). Saint Petersburg : Publishing House "Nestor-Istoriya", 2010. 162 p. (in Russian)
15. Kovalenko S. N. *Regulirovanie vodnogo i biogennoy balansu malykh rek pri osvoenii vodobora : avtoreferat dissertatsii ... doktora tekhnicheskikh nauk* (Regulation of water and biogenous balance of small rivers at water collection mastering : thesis of inauguration of Dissertation ... of Doctor of Engineering Sciences). Saint Petersburg, 2011. 36 p.
16. Lawrence K. Assessment of Key Processes Affecting Vertical Transport of Brines in Low Permeability Till Beneath the potassium Salt Piles. *GeoConvention (Canada)*. 2010. No. 5. pp. 12–18.
17. Makashov S. E. *Ustanovlenie zakonomernostey filtratsii rassolov dlya resheniya problem zagryazneniya prirodnykh vod na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliynykh soley : avtoreferat dissertatsii ... kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk* (Establishing the regularities in brine filtration for solving the problems of natural water contamination at the Upper Kama deposit of potassium salts : thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Geological-Mineralogical Sciences). Saint Petersburg, 2012. 20 p.

УДК 553.632 (471.503)

О ВОЗМОЖНОМ ПОДХОДЕ К ГИДРОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СХЕМАТИЗАЦИИ НАДСОЛЕВОЙ ТОЛЩИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ



А. С. СЕННОВ,
старший научный сотрудник,
канд. геол.-минерал. наук,
АО «ВНИИ Галургии»,
Санкт-Петербург, Россия,
sennov.andrew@yandex.ru

Введение

Идея использования методов многомерной статистики в гидрогеологии не нова. Так, в монографии [1] приводятся примеры их применения при исследовании режима подземных вод, выявлении фильтрационной и гидрогеохимической неоднородности, распреде-

В условиях сложного геологического строения породного массива и крайней неоднородности его водно-физических свойств гидрогеодинамическая схематизация, как правило, вызывает трудности, для преодоления которых можно использовать многомерные статистические методы. Приводится пример обработки массива данных с помощью факторного анализа. Отбор исходных данных осуществляется с использованием ГИС-технологий.

Ключевые слова: гидрогеодинамическая схематизация, многомерные статистические методы, факторный анализ, метод главных компонент, гидрогеодинамическое моделирование, геоинформационные системы.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.09>

© Сеннов А. С., 2016