



**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА
ПОДЗЕМНОГО СТОКА СУММЫ ИОНОВ НАТРИЯ И КАЛИЯ
(НА ПРИМЕРЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ
СЕВЕРА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ)**

**Хайруллина Д. Н. ORCID ID 0000-0002-2829-5248,
Петрова Е. В. ORCID ID 0009-0008-0713-3312**

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Российская Федерация,
e-mail: dinara-hi@yandex.ru*

Количественная оценка выноса подземными водами высокоподвижных ионов (суммы ионов натрия и калия) актуальна для реализации мероприятий в области рационального природопользования (эффективной нефтегазодобычи, безопасности строительства), геохимического контроля (оценки миграции загрязняющих веществ), а также реконструкции и прогноза в геоэкологических исследованиях в регионе. Целью исследования является пространственно-временная оценка подземного стока высокоподвижных водных мигрантов (суммы ионов натрия и калия) в различных речных бассейнах севера Восточно-Европейской равнины. В основе расчетов лежит метод гидрологического моделирования, основанный на использовании информации о концентрациях ионов в период глубокой зимней межени и минимальных расходов воды за многолетний (1958–2007 гг.) период. В целом в пространственно-временном аспекте абсолютные значения подземной составляющей стока суммы ионов натрия и калия исследуемых речных бассейнов варьируют в пределах 181,9–2795,1 кг/км². Пространственная изменчивость долевого участия подземной составляющей стока Na⁺+K⁺ изменяется от 15,5 до 65,8 %. Максимальные значения отмечаются в пределах более древних горных пород и литологических комплексов. Выраженный рост подземной составляющей анализируемых ионов фиксируется в более освоенных бассейнах рек.

Ключевые слова: подземный сток, сумма ионов натрия и калия, зимняя межень, речной бассейн, горная порода

Благодарности: Авторы выражают благодарность канд. геогр. наук, доц. В. А. Федоровой и канд. геогр. наук, доц. А. Г. Шарифуллину за оказанную помощь при написании данной статьи.

**SPACE-TIME ASSESSMENT OF UNDERGROUND FLOW
OF SODIUM AND POTASSIUM IONS (USING THE EXAMPLE
OF RIVER BASINS IN THE NORTH OF THE EAST EUROPEAN PLAIN)**

**Khayrullina D. N. ORCID ID 0000-0002-2829-5248,
Petrova E. V. ORCID ID 0009-0008-0713-3312**

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Kazan (Volga region) Federal University”, Kazan, Russian Federation,
e-mail: dinara-hi@yandex.ru*

Quantitative assessment of groundwater removal of highly mobile ions (the sum of sodium and potassium ions) is relevant for the implementation of measures in the field for the purpose of rational use of natural resources (efficient oil and gas production, construction safety), geochemical monitoring (assessing pollutant migration), and reconstruction and forecasting in regional geoecological studies. The aim of this work is a space-time assessment of the underground flow of highly mobile water migrants (the sum of sodium and potassium ions) in various river basins in the north of the East European region. The calculations are based on a hydrological modeling method based on information on ion concentrations during deep winter low water periods and minimum water discharges over a multi-year period (1958–2007). Statistically, in the time-spatial aspect the absolute values of the groundwater component of river runoff (sodium and potassium ions) in the river basins range from 181,9 to 2795,1 kg/km². The spatial variability of the contribution of the groundwater component (Na⁺+K⁺) to runoff ranges from 15,5 to 65,8 %. Maximum values are observed within older rocks and lithological complexes. Finally, a significant increase in the groundwater component of the analyzed ions is recorded in more developed river basins.

Keywords: groundwater flow, the sum of sodium and potassium ions, winter low water, river basin, rock

Acknowledgements: The authors express their gratitude to Ph.D., Associate Professor V. A. Fedorova and Ph.D., Associate Professor A. G. Sharifullin for his assistance in writing this article.

Введение

Север Восточно-Европейской равнины отличается контрастностью неотектонических, геологических, климатических и ланд-

шафтных условий, определяющих химический состав горных пород и подземных вод. В современный период усиливающееся техногенное воздействие на природную сре-

ду в пределах региона приводит к необратимым последствиям, в том числе локальному загрязнению подземных вод.

Цель исследования – пространственно-временная оценка подземного стока высокоподвижных водных мигрантов (суммы ионов натрия и калия) в различных речных бассейнах севера Восточно-Европейской равнины. Дан анализ подземной составляющей стока Na^+K^+ в зависимости от состава горных пород и литологических комплексов.

Материалы и методы исследования

Исходной информацией для работы послужила база данных по ионному стоку рек севера Восточно-Европейской равнины, созданная кафедрой ландшафтной экологии Казанского университета на основе материалов ФГБУ «Северное УГМС», а также количественная информация о природно-антропогенных характеристиках региона, полученная на геопортале «Речные бассейны Европейской России» [1; 2].

Современные методы оценки подземного питания рек разнообразны и зависят от природных условий, сформировавших речной бассейн, его изученности в историческом и доступности в современном аспектах. Так, метод прямого измерения подземного питания рек путем анализа проб подземных вод из скважин различной глубины применим в местах интенсивной разгрузки подземных вод. Такие работы выполнялись в нашей стране Н. П. Торсуевым в пределах Тиманского кряжа [3, с. 34]. В настоящее время работы данной направленности ведутся О. Г. Савичевым (2025) в бассейне р. Оби, а также П. И. Яковлевым (2025) в бассейне р. Западной Двины [4; 5]. За рубежом работы подобной направленности выполнены X.-W. Jiang и др. (2018) в пределах Ордовского плато на северо-западе Китая, J. E. Solder (2016) в бассейне р. Колорадо (США) [6; 7].

Метод гидрогеохимической идентификации используется, как правило, для рек, имеющих тесную гидравлическую связь с подземными водами. Примерами таких исследований являются работы M. L. Atkins и др. (2016) в бассейне р. Ричмонд (Австралия), M. Blumstock и др. (2016) в Северо-Шотландском нагорье, M. V. Khadka (2017) в Северо-Центральной Флориде (США) [8–10].

В последнее десятилетие широко распространён метод гидрологического моделирования [11]. Основу этого метода заложили еще советские гидрологи, которые

пытались определить источники питания рек по гидрографу расходов воды. Исследователи Государственного гидрологического института считали целесообразным выбор метода, предложенного В. С. Советовым (1930) и Т. М. Черной (1964), которые в работах выделяли, во-первых, глубокие подземные воды на гидрографе прямой, соединяющей минимальные расходы воды в реке, и, во-вторых, верховодку (почвенно-грунтовый сток) [11]. Подобные работы также провели: С. А. Rumsey и др. (2015) в верховьях бассейна р. Колорадо (США), И. Ю. Лешан, И. Н. Брехова (2017) в верховьях бассейна р. Волги (Россия), J. Jódar и др. (2017) в бассейне р. Берчулес (Испания) [12–14].

В настоящее время с использованием метода гидрологического моделирования проводится оценка подземного питания рек по их межённому стоку в бассейне р. Чая (Обь-Иртышское междуречье), в бассейне р. Кубань, а также в речных бассейнах Енисейского кряжа [15–17]. Такие работы также проводились в Республике Татарстан [18; 19]. За рубежом похожие работы приурочены к бассейнам рек Южной Африки и Канады [20; 21].

С. О. Гриневским и др. (2016) применена модель, оценивающая инфильтрационное питание подземных вод атмосферными осадками с привлечением данных о характере земной поверхности [22].

В целом в данной работе рассчитана доля подземного питания реки несколькими способами (рис. 1).

В итоге был выбран метод оценки подземного стока рек по минимальным расходам воды в годовом срезе, предложенный В. С. Советовым (1930) [11], с учетом следующих обстоятельств:

- минимальные расходы воды, отражающие глубокий подземный сток, формируют устойчивую часть стока данной реки;

- минимальные расходы воды отбираются в период глубокой зимней межени, когда в средних и высоких широтах питание рек полностью обеспечивается грунтовым стоком [23, с. 65];

- данный метод не требует обширной информационной базы, прост в расчетах и дает физически обоснованный результат.

Недостатком метода является отсутствие учета типа взаимосвязи поверхностных и грунтовых вод в кратковременный период половодья, а также возможного превышения площади подземного водосбора для карстовых рек над поверхностным водосбором.

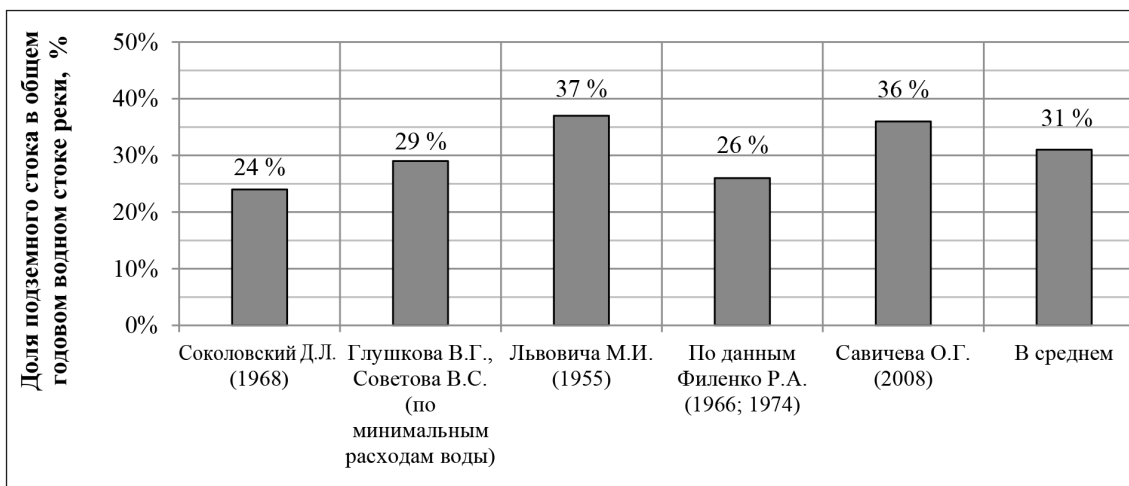


Рис. 1. Методы оценки подземной составляющей в водном стоке реки (на примере р. Кодина – р. п. Кодино за 2000 г.)
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

В целом подземный сток воды $W_{\text{водн. подз}}$ (км^3) оценивался по формуле

$$W_{\text{водн. подз}} = Q_{\text{min}} \cdot n \cdot 0,0001,$$

где Q_{min} – минимальный среднесуточный расход воды за гидрологический год, $\text{м}^3/\text{с}$,

n – количество дней в данном гидрологическом году.

Доля подземного стока воды в общем годовом стоке воды рассчитывалась как отношение величины подземного стока воды к общему стоку воды за каждый гидрологический год по формуле

$$p = W_{\text{водн. подз}} / W_{\text{водн. год}}$$

Подземный ионный сток ($\text{кг}/\text{км}^2$), в свою очередь, рассчитывался по формуле, предложенной В. П. Зверевым (1982):

$$W_{\text{и. подз}} = \frac{C_{\text{зима}} \cdot W_{\text{водн. подз}} \cdot 1000}{F} - p \cdot W_{\text{и. атм}},$$

где $C_{\text{зима}}$ – концентрация ионов в период глубокой зимней межени при известных минимальных значениях расходов воды, $\text{мг}/\text{л}$ (в средних и высоких широтах в период зимней межени питание рек полностью обеспечивается грунтовым стоком);

$W_{\text{водн. подз}}$ – суммарный сток глубоких подземных вод в данном гидрологическом году, км^3 ;

p – доля стока глубоких подземных вод в общем стоке воды за данный гидрологический год;

$W_{\text{и. атм}}$ – атмосферная составляющая ионного стока с данного речного бассейна;

F – площадь речного бассейна выше поста наблюдения, км^2 [23–25].

Преимуществом метода является детальность расчетов, основанная на привлечении ежедневных данных о расходах воды, ежемесячных данных о количестве и качестве атмосферных осадков, данных о качестве поверхностных вод по фазам водного режима, а также интеграции нескольких подходов:

1. Метода оценки подземного ионного стока, предложенного В. П. Зверевым (1982):

а) использование данных о концентрации ионов в период глубокой зимней межени, когда в средних и высоких широтах питание рек полностью обеспечивается грунтовым стоком;

б) учет атмосферной составляющей в подземной приточности ионов, обусловленной вероятностью просачивания ионов атмосферного происхождения вместе с атмосферными осадками в подземные воды;

2. Приведение исходной детализированной (по сравнению с предшествующими исследованиями) в пространстве и во времени информации о качестве и количестве атмосферных осадков к единому знаменателю – гидрологическому году.

Результаты исследования и их обсуждение

В пространственном аспекте подземная составляющая в речном стоке $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ варьирует в пределах 220,7–2795,1 $\text{кг}/\text{км}^2$ (табл. 1).

Таблица 1

Статистические показатели пространственно-временной изменчивости подземной составляющей речного стока Na^+K^+ (b_1 – угловой коэффициент линейной регрессии многолетней изменчивости подземной составляющей речного стока Na^+K^+ , n – количество лет наблюдений)

Речной бассейн	Показатели изменчивости подземной составляющей речного стока Na^+K^+					
	в пространстве				во времени	
	среднегодовые		максимальные, кг/км ² (год)	минимальные, кг/км ²	b_1	n
	кг/км ²	% от общего стока Na^+K^+				
Виледь – д. Инаевская	1245,8	55,2	4742,9 (1972)	80,4	2,0428	34
Лежа – ст. Бушуиха	411,1	15,5	585,7 (2004)	168,6	–	5
Пинега – д. Согры	740,7	41,0	3610,8 (1990)	67,1	6,8236	32
Сямжа – с. Сямжена	181,9	18,0	244,3 (2004)	90,5	16,414	8
Вага – д. Глуборецкая	315,5	18,8	479,9 (2007)	198,7	26,493	8
Кичменьга – д. Захарово	460,7	32,7	613,0 (2003)	379,7	–	3
Покшеньга – п. Сылога	648,7	45,8	803,6 (1994)	456,9	-12,135	14
Волошка – д. Тороповская	220,7	20,4	483,1 (1991)	121,6	-14,078	9
Весляна – р. п. Вожаэль	662,3	37,1	1453,7 (2007)	19,1	15,134	29
Нившера – д. Троицк	611,1	40,0	1460,9 (1972)	120,5	-17,786	19
Иосер – п. Иосер	277,3	24,7	979,3 (1979)	53,3	5,2732	14
Вымь – с. Весляна	616,2	39,4	1933,9 (1980)	47,7	-17,395	21
Елва – д. Мещура	648,4	34,5	3150,8 (1980)	207,6	-12,828	32
Пеза – д. Сафоново	638,8	33,5	1080,0 (2007)	264,2	3,5263	24
Яренга – с. Тохта	650,6	43,9	1349,6 (1972)	151,7	-1,3098	34
Вашка – д. Вендига	412,8	35,0	750,4 (1992)	31,1	14,357	20
Вишера – д. Лунь	689,3	38,6	2687,5 (1972)	114,2	-0,5526	26
Бол. Лоптюга – д. Буткан	725,0	43,2	1013,0 (1993)	344,3	7,152	24
Кодина – р. п. Кодино	1621,5	55,6	2056,7 (1993)	887,1	-14,219	9
Мезень – д. Макариб	733,3	39,6	1117,0 (1987)	194,7	5,9567	26
Сула – д. Коткина	2795,1	65,8	5498,3 (1995)	567,0	-20,698	24
Седью – п. Седью	422,7	27,3	1598,5 (2003)	139,2	32,76	14
Пижма – д. Боровая	493,0	34,9	2198,7 (1970)	13,8	-6,7377	35
Золотица – д. Верхняя Золотица	1629,2	41,5	2214,0 (1999)	721,9	0,3818	31

Примечание: составлена авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Минимальные значения приурочены к юго-западной части региона исследования с господством ледниковых отложений (рис. 2) [26]. Так, самые низкие значения, не превышающие 250 кг/км², отмечаются в пределах Онего-Двинского плато (бассейны рек Сямжа, Волошка), что, возможно, исторически обусловлено выпадением повышенного годового количества атмосферных осадков (500–550 мм), предохраняющего большую перемытость горных пород (коэффициент корреляции $R = -0,54$) (рис. 3) [1; 2].

Напротив, в пределах Сухоно-Волжского водораздела в бассейне р. Лежа от-

мечается локальный участок снижения годового количества атмосферных осадков до 450–500 мм, при этом значения подземной составляющей в речном стоке Na^+K^+ повышаются до 411,1 кг/км² (табл. 1) [1; 2]. Далее к востоку в пределах Двинско-Пинежского междуречья, а также Тиманского кряжа значения подземной составляющей стока Na^+K^+ возрастают до 600–750 кг/км². Аномально высокие значения подземной составляющей стока Na^+K^+ встречаются на р. Золотица (1629,2 кг/км²), Коди-на (1621,5 кг/км²) и Сула (2795,1 кг/км²) (табл. 1).

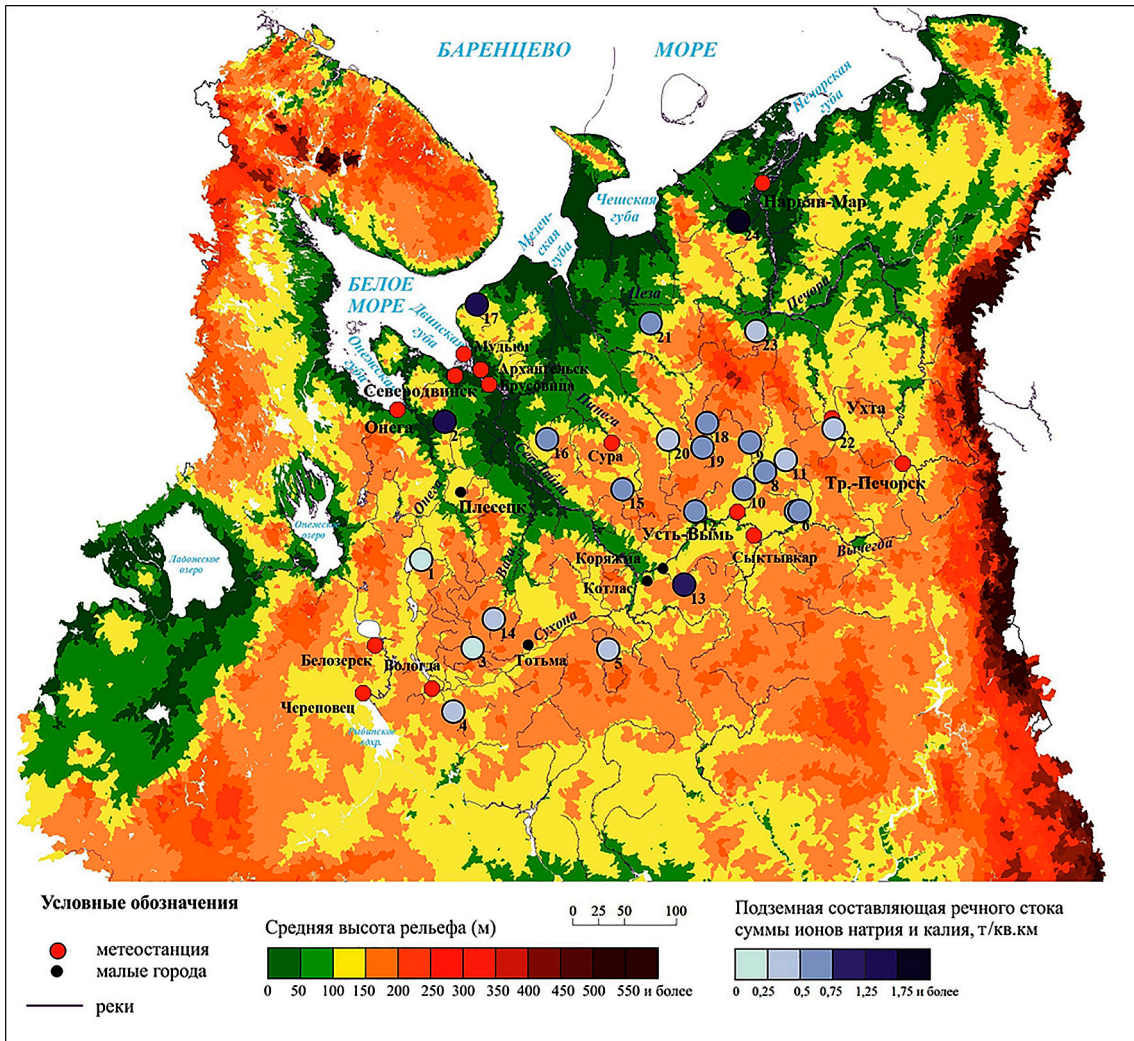


Рис. 2. Пространственная изменчивость подземной составляющей стока $Na^+ + K^+$ в пределах севера Восточно-Европейской равнины. Гидрологические посты: 1 – Волошка – д. Тороповская, 2 – Кодина – р.п. Кодино, 3 – Сямжа – с. Сямжена, 4 – Лежа – ст. Бушуиха, 5 – Кичменьга – д. Захарово, 6 – Вишера – д. Лунь, 7 – Нившера – д. Троицк, 8 – Весляна – р. п. Возжаэль, 9 – Елга – с. Межура, 10 – Вымь – с. Весляна, 11 – Иосер – пос. Иосер, 12 – Яренга – с. Тохта, 13 – Виледь – д. Инаевская, 14 – Вага – д. Глуборецкая, 15 – Пинега – д. Согры, 16 – Покшеньга – пос. Сылога, 17 – Золотица – д. Верхняя Золотица, 18 – Мезень – д. Макариб, 19 – Большая Лоптюга – д. Буткан, 20 – Вашка – д. Вендига, 21 – Пеза – д. Сафоново, 22 – Седью – пос. Седью, 23 – Пижма – д. Боровая, 24 – Сула – д. Коткина
Примечание: составлен авторами на основе источников [1; 2]

Что касается временной изменчивости подземной составляющей стока $Na^+ + K^+$, то в данной работе в качестве показателя, отражающего динамику ее многолетней изменчивости (ее выраженность, направление и скорость) рассматривался угловой коэффициент линейной регрессии b_1 . В результате расчетов выявлено, что в регионе наиболее выраженная положительная динамика подземной составляющей стока $Na^+ + K^+$ отмечается для речных бассейнов юго-западной части региона с повышен-

ной антропогенной нагрузкой [1; 2]. Так, для бассейнов р. Вага и Сямжа коэффициент b_1 в уравнении линейной регрессии $y = b_0 + b_1x$ равен 26,5 и 16,4 соответственно (табл. 1). Так, эти речные бассейны (в том числе бассейн р. Лежа), расположенные в более теплом юго-западном секторе региона со среднегодовой температурой воздуха, превышающей $2^\circ C$, характеризуются распространением по берегам рек сельскохозяйственных угодий [1; 2].

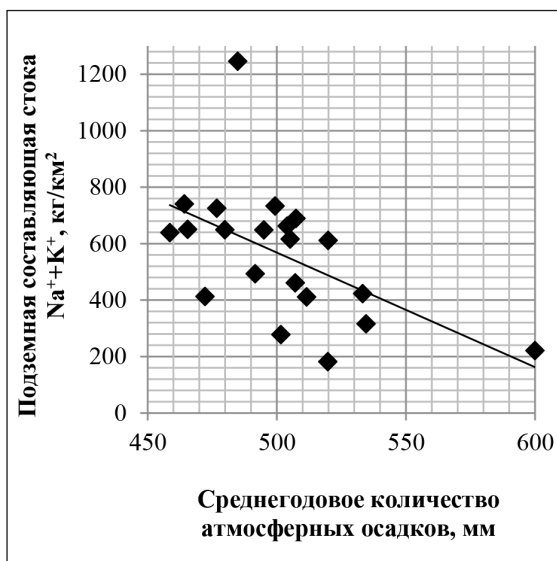


Рис. 3. Зависимость подземной составляющей стока $Na^+ + K^+$ от среднегодового количества атмосферных осадков
Примечание: составлен авторами на основе источников [1; 2]

В связи с функционированием сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов здесь, возможно, имеет место постепенное вымывание грунтовыми водами накопленных годами остаточных компонентов минеральных удобрений, содержащих

анализируемые ионы. Кроме того, в более поздний период, в 2000-х гг., здесь фиксируются абсолютные максимумы подземной составляющей речного стока $Na^+ + K^+$ (для р. Вага – в 2007 г., р. Сямжа – в 2004 г.).

Напротив, выраженный отрицательный тренд (b_i менее -12) подземной составляющей речного стока $Na^+ + K^+$ характерен для р. Волошка ($b_i = -14,1$), р. Вымь и ее притоков (в том числе Елва ($b_i = -12,8$), Нившера ($b_i = -17,8$)), а также рек лесотундры (Сула ($b_i = -20,7$)) и северо-таежной подзоны (Покшеньга ($b_i = -12,1$), Кодина ($b_i = -14,2$)). Так, максимальные значения подземной составляющей стока $Na^+ + K^+$ в бассейне р. Вымь отмечаются в 1970-х гг., тогда как для рек северо-таежной подзоны фиксируются в более поздний период – в 1990-х гг. (табл. 1).

Слабо выраженная тенденция временной изменчивости подземной составляющей стока анализируемых ионов (b_i по модулю не превышает 1) отмечается в бассейнах р. Золотица и Вишера (табл. 1). Незначительные изменения в многолетнем аспекте характерны и для рек с длинными рядами наблюдений (рис. 4).

Изменчивость долевого участия подземной составляющей в суммарном речном стоке $Na^+ + K^+$ синхронна с пространственной изменчивостью ее абсолютных показателей (коэффициент корреляции R равен 0,8194 при уровне значимости $p = 0$).

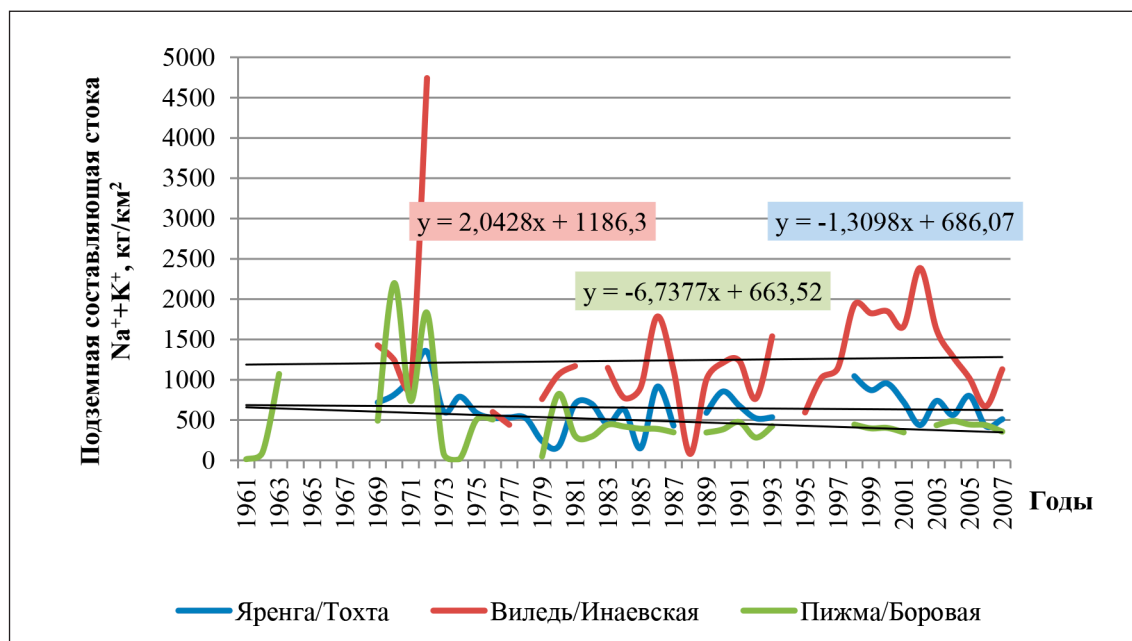


Рис. 4. Графики многолетней изменчивости подземной составляющей стока $Na^+ + K^+$ в бассейнах р. Яренга, Виледь и Пижма
Примечание: составлен авторами по результатам данного исследования

Таблица 2

Подземная составляющая стока Na^+K^+
в пределах литологических комплексов разного возраста

Возраст горных пород (индекс)	Литологические комплексы	Подземная составляющая речного стока Na^+K^+ , кг/км ²
Q	Пески, суглинки	1245,8
T ₁	Пески, конгломераты, глины, мергели, алевролиты	575,9
P ₃ snsv; T ₁ vt	Доломиты, мергели, глины (P ₃ snsv); пески, конгломераты, глины, мергели, алевролиты (T ₁ vt)	319,4
P ₃ nst	Алевриты, пески, алевролиты, песчаники в низах огипсованные	648,7
P ₂ kz	Известняки, мергели, доломиты, в нижней части – песчаники, глины	220,7
P ₂	Слаболитифицированные песчаники	541,7
P ₁ s, P ₁ k	Доломиты, ангидриты, гипс с прослоями глин	627,4
C ₁	Глины, алевриты, пески, известняки, конгломераты	1621,5
D	Известняки, алевролиты, глины, мергели и гипсы	1111,0
Є ₁	Глины, алевролиты и песчаники	1629,2

Примечание: составлена авторами на основе источников [26; 27].

В целом долевое участие подземной составляющей в суммарном речном стоке Na^+K^+ варьирует от 15,5 % (Лежа) до 65,8 % (Сула).

Самые высокие показатели (более 55 %) отмечаются для бассейнов р. Виледь, Кодина, Сула (табл. 1). Минимальные значения вклада подземной составляющей Na^+K^+ в общий сток ионов (менее 20 %) тяготеют к речным бассейнам юго-западной окраины региона (Лежа, Сямжа, Вага, а также Волошка), что, возможно, обусловлено большим вкладом других составляющих стока анализируемых ионов – атмосферной и поверхностной (почвенной). Так, для данных речных бассейнов характерно наличие распаханых земель (10,53; 0,33; 0,7 и 0,06 % соответственно), являющихся, как правило, источником накопленных минеральных удобрений в почвах. Кроме того, близость промышленных узлов региона (Вологда, Череповец), возможно, усиливает вклад атмосферной составляющей в общий речной сток анализируемых ионов.

В пределах литологических комплексов разного возраста подземная составляющая стока Na^+K^+ варьирует: минимальные значения вклада приурочены к речным бассейнам, сложенным верхнепермскими отложениями казанского яруса (известняками, мергелями, доломитами), не превышая 220,7 кг/км², тогда как максимум приходится на более древние верхнекембрийские отложения

(глины, алевролиты и песчаники), достигая 1629,2 кг/км² (табл. 2).

Заключение

Абсолютные значения подземной составляющей стока Na^+K^+ исследуемых речных бассейнов севера Восточно-Европейской равнины варьируют в пределах 181,9–2795,1 кг/км². Максимальные значения (более 1000 кг/км²) фиксируются в пределах бассейнов р. Сула, Золотица, Кодина и Виледь.

Пространственная изменчивость долевого участия подземной составляющей стока Na^+K^+ варьирует от 15,5 до 65,8 %. Максимальный вклад (более 50 %) отмечается в бассейнах рек Сула, Кодина, Виледь.

Анализ литологических комплексов показал, что в пределах более древних литологических комплексов (карбонового, девонского и кембрийского возраста), слагающих анализируемые бассейны рек (Золотица, Сула, Мезень, Седью, Пижма, Кодина), отмечаются наибольшие величины подземной составляющей Na^+K^+ .

Проведенное исследование показало, что выраженный рост подземной составляющей анализируемых ионов отмечается в более освоенных бассейнах рек.

Исследование имеет практическую значимость, его результаты могут быть полезны при реализации мероприятий в области рационального природопользования,

эффективной нефтегазодобычи, безопасности строительства, геохимического контроля, оценки миграции загрязняющих веществ, а также реконструкции и прогноза в геоэкологических исследованиях в регионе.

Список литературы

- Mukharamova S. S., Saveliev A. A., Ivanov M. A., Gafurov A. M., Yermolaev O. P. Estimating the Soil Erosion Cover-Management Factor at the European Part of Russia // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10. P. 645. URL: https://www.researchgate.net/publication/354858691_Estimating_the_Soil_Erosion_Cover-Management_Factor_at_the_European_Part_of_Russia (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.3390/ijgi10100645.
- Yermolaev O. P., Mukharamova S. S., Maltsev K. A., Ivanov M. A., Gafurov A. M., Saveliev A. A., Shynbergenov E. A., Ermolaeva P. O., Bodrova A. O., Yantsitov R. O. Geography and Geoecology of Russia in the Mosaic of River Basins // *Geography and Natural Resources*. 2023. Vol. 44. Is. 3. P. 208–214. URL: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1875372823030046> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.15372/GIPR20230303.
- Торсуев Н. П. Пространственно-временная организация карстовых систем. Казань: Отечество, 2007. 180 с. ISBN 978-5-9222-0181-0.
- Савичев О. Г., Домаренко В. А. Особенности формирования химического состава поверхностных и подземных вод на водораздельных участках Васюганского болотного массива в водосборе реки Мура (Томская область) // *Известия Алтайского отделения Русского географического общества*. 2025. № 1 (76). С. 41–52. URL: <http://rgo-journal.ru/index.php/babrgs/article/view/541/452> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.24412/2410-1192-025-17603.
- Яковлев П. И. Некоторые особенности формирования минимального межленного и подземного стока рек в верхней части бассейна Западной Двины // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2025. № 5. С. 39–58. URL: <https://waterjournal.ru/files/wj/1763025351.pdf> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.35567/1999-4508-2025-5-39-58.
- Jiang X.-W., Wan L., Wang X.-S., Wang D., Wang H., Wang J.-Z., Zhang H., Zhang Z.-Y., Zhao K.-Y. A multi-method study of regional groundwater circulation in the Ordos Plateau, NW China // *Hydrogeology journal*. 2018. Vol. 26 (2). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-018-1731-4> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1007/s10040-018-1731-4.
- Solder J. E., Stolp B. J., Heilweil V. M., Susong D. D. Characterization of mean transit time at large springs in the Upper Colorado River Basin, USA: a tool for assessing groundwater discharge vulnerability // *Hydrogeology Journal*. 2016. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-016-1440-9> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1007/s10040-016-1440-9.
- Atkins M. L., Santos I. R., Maher D. T. Assessing groundwater-surface water connectivity using radon and major ions prior to coal seam gas development (Richmond River Catchment, Australia) // *Applied Geochemistry*. 2016. Vol. 73. P. 35–48. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292716301597> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.07.012.
- Blumstock M., Tetzlaff D., Dick J. J., Nuetzmann G., Soulsby C. Spatial organization of groundwater dynamics and streamflow response from different hydrogeological units in a montane catchment // *Hydrological processes*. 2016. Vol. 30 (21). URL: https://www.researchgate.net/publication/298899168_Spatial_organisation_of_groundwater_dynamics_and_streamflow_response_from_different_hydrogeological_units_in_a_montane_catchment (дата обращения: 10.03.2026). P. 3735–3753. DOI: 10.1002/hyp.10848.
- Khadka M. B., Martin J. B., Kurz M. J. Synoptic estimates of diffuse groundwater seepage to a spring-fed karst river at high spatial resolution using an automated radon measurement technique // *Journal of Hydrology*. 2017. Vol. 544. P. 86–96. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002216941630720X> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.11.013.
- Соколовский Д. Л. Речной сток (основы теории и методики расчетов). Л.: Гидрометеоздат, 1968. 539 с.
- Rumsey C. A., Miller M. P., Schwarz G. E., Hirsch R. M., Susong D. D. The role of baseflow in dissolved solids delivery to streams in the Upper Colorado River Basin // *Hydrological Processes*. 2017. Vol. 31. Is. 26. P. 4705–4718. URL: <https://pubs.usgs.gov/publication/70203537> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1002/hyp.11390.
- Лешан И. Ю., Брехова И. Н. Динамика поверхностного и подземного стоков реки Стерля // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2017. № 1. С. 7–11. URL: <http://intjournal.ru/dinamika-poverhnostnogo-i-podzemnogo-stokov-reki-sterlya/> (дата обращения: 10.03.2026).
- Jódar J., Cabrera J. A., Martos-Rosillo S., Ruiz-Constán A., González-Ramón A., Lambán L. J., Herrera C., Custodio E. Groundwater discharge in high-mountain watersheds: A valuable resource for downstream semi-arid zones. The case of the Bérchules River in Sierra Nevada (Southern Spain) // *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 593–594. P. 760–772. URL: https://www.researchgate.net/publication/315701561_Groundwater_discharge_in_high-mountain_watersheds_A_valuable_resource_for_downstream_semi-arid_zones_the_case_of_the_Berchules_River_in_Sierra_Nevada_Southern_Spain (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.190.
- Харанжевская Ю. А. Подземный сток центральной части Обь-Иртышского междуречья (на примере бассейна р. Чая) // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2016. № 4. С. 305–319. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_26468967_34595315.pdf (дата обращения: 10.03.2026).
- Гуревич Е. В., Марков М. Л. Характеристика минимального стока рек в бассейне р. Кубань // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 9. С. 66–76. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_40834987_93063180.pdf (дата обращения: 10.03.2026).
- Пинкевич М. Н., Дворецкая Ю. Б. Оценка естественных ресурсов подземных вод в пределах Олимпиадинской площади (Енисейский край) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2016. № 1. С. 144–149. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/heologia/2016/01/2016-01-20.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
- Шарифуллин А. Н., Мозжерин В. И., Мозжерин В. В., Двинских А. П., Денмухаметов Р. Р., Курбанова С. Г. Оценка величин подземного питания рек и родников стока Республики Татарстан // *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2008. Т. 150. № 4. С. 67–76. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_11694602_93653695.pdf (дата обращения: 10.03.2026).
- Горшкова А. Т., Урбанова О. Н., Бортникова Н. В., Горбунова Ю. В. Изменение жесткости речных вод территории Республики Татарстан // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2020. № 3. С. 94–104. URL: <https://waterjournal.ru/files/wj/1594728082.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).
- Ebrahim G. Y., Villholth K. G. Estimating shallow groundwater availability in small catchments using streamflow recession and instream flow requirements of rivers in South Africa // *Journal of Hydrology*. 2016. Vol. 541. Part B. P. 754–765. URL: https://www.researchgate.net/publication/305542603_Estimating_shallow_groundwater_availability_in_small_catchments_using_streamflow_recession_and_instream_flow_requirements_of_rivers_in_South_Africa (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.07.032.
- Niazi A., Bentley L. R., Hayashi M. Estimation of spatial distribution of groundwater recharge from stream baseflow and groundwater chloride // *Journal of Hydrology*. 2017.

Vol. 546. P. 380–392. URL: https://www.researchgate.net/publication/312663889_Estimation_of_spatial_distribution_of_groundwater_recharge_from_stream_baseflow_and_groundwater_chloride (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.01.032.

22. <http://elibrary.ru/item.asp?id=27200039> Гриневский С. О., Иванова Я. В., Сафонов А. О. Оценка естественных ресурсов подземных вод на основе геогидрологического моделирования инфильтрационного питания // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 45–52. URL: <https://www.geology-mgri.ru/jour/article/view/172/173> (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.32454/0016-7762-2016-5-45-52.

23. Зверев В. П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. 186 с.

24. Khayrullina D. N., Fedorova V. A. Sodium balance structure within the elementary geosystems (by the example of basin of the Elva River in the Komi republic) // *Advances in Environmental Biology*. 2014. Vol. 8. Is. 4. P. 1015–1020. URL:

<https://aensiweb.com/old/aeb/2014/1015-1020.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).

25. Khayrullina D. N., Kurzhanova A. A. The genetic structure of the chloride ion runoff on the example of karst and non-karst geosystems of Arkhangelsk oblast // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 107. Is. 1. Art. № 012012. URL: https://www.researchgate.net/publication/322839983_The_genetic_structure_of_the_chloride_ion_runoff_on_the_example_of_karst_and_non-karst_geosystems_of_Arkhangelsk_oblast (дата обращения: 10.03.2026). DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012012.

26. Гидрогеология СССР. Т. 44. Архангельская область, Вологодская область. М.: Недра, 1969. 300 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/books/5868> (дата обращения: 10.03.2026).

27. Гидрогеология СССР. Т. 42. Коми АССР и Ненецкий национальный округ Архангельской области РСФСР. М.: Недра, 1970. 288 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geokniga.org/books/5866> (дата обращения: 10.03.2026).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.