

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ и ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ на ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РЕК ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ г. Иркутска

**Приводятся результаты исследования р. Ангары и рек ее бассейна, расположенных в районе промышленной зоны г. Иркутска. Выделены природные и антропогенные факторы, влияющие на трансформацию химического состава вод. Показаны изменения концентраций макрокомпонентов и биогенных элементов в пространственно-временном цикле.**

## Введение

**В** эпоху техногенеза наиболее остро встает проблема сохранения качества поверхностных пресных вод. Особенно это относится к территориям, на которых расположены крупные городские агломерации с широко развитыми аграрно-промышленными комплексами.

Восточная Сибирь является одним из богатейших регионов по запасам пресных водных ресурсов не только в России, но и в мире. Однако, антропогенная нагрузка на реки региона на протяжении последнего столетия постоянно возрастает, приводя к негативным изменениям окружающей среды. Город Иркутск, являясь наиболее крупным промышленным центром Восточной Сибири, в котором сосредоточена значительная часть населения Иркутской области, расположен на берегу р. Ангары. Гидрохимический состав реки определяется, главным образом, стоком слабоминерализованных чистейших вод оз. Байкал.

**В.И. Алиева\***,  
кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН  
**Н.А. Загорюлько**,  
младший научный сотрудник, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

Изменение первоначального (байкальского) состава вод р. Ангары происходит под воздействием ряда природных факторов, таких как влияние притоков, атмосферных осадков и поступление грунтовых вод. Значительный вклад в гидрохимический состав реки вносит и антропогенная составляющая — промышленные и бытовые сточные воды городских агломераций, поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий и др. В связи с этим, целью работы является изучение природной и антропогенной составляющих современного химического состава вод р. Ангары и ее притоков в зоне влияния агломерации г. Иркутска в пространственно-временном аспекте.

## Материалы и методы исследования

**В** работе анализируются результаты гидрохимических исследований водотоков, расположенных в г. Иркутске и на прилегающей к нему территории, полученные в 2008 г. Отбор проб проводился на станциях, размещенных до и после источников техногенного воздействия в различные гидрологические фазы (зимняя межень, весеннее половодье, летняя и осенняя межень). Основными водными объектами выделенного района являются р. Ангара, созданное на ней Иркутское вдхр., правобережный приток Ангары — р. Ушаковка, левобережный — р. Иркут, а также реки Олха и Кая (притоки р. Иркут). Иркутское вдхр., расположенное выше промышленной зоны г. Иркутска, является участком р. Ангары, в меньшей степени подверженным техногенному воздействию от промышленных предприятий и принято нами за условно фоно-

\*Адрес для корреспонденции: [alieva@igc.irk.ru](mailto:alieva@igc.irk.ru)

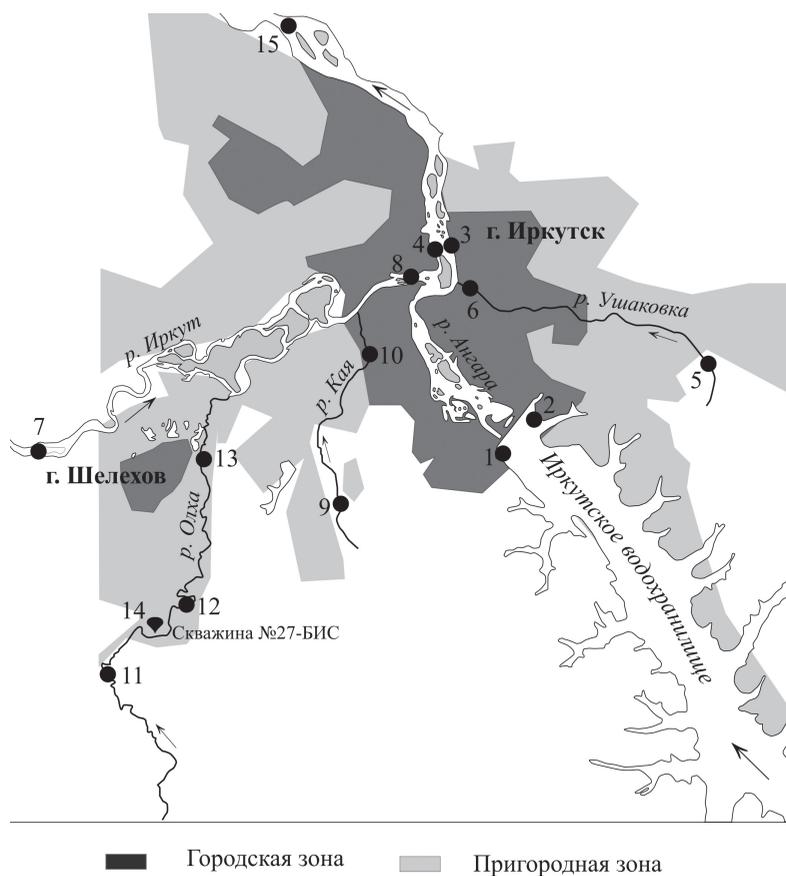


Рис. 1. Карта-схема отбора проб.

вый объект. Нами также опробована вода из скважины №27-БИС, расположенной на берегу р. Олха. Поступление минеральной воды в указанный водоток можно рассматривать как модель при оценке вклада грунтовых вод в гидрохимический состав реки. Район исследований и станции отбора проб приведены на рис. 1.

Определение компонентного состава вод ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$ ) проведено с использованием стандартных методик [1] в аккредитованном аналитическом секторе ИГХ СО РАН.

## Результаты и их обсуждение

### Макрокомпонентный состав

По химическому составу воды всех опробуемых водотоков гидрокарбонатные кальциевые. По величине рН они относятся к группе нейтральных вод при незначительных изменениях в течение года. Минимальные значения рН определены в марте в водах рек Иркут и Ушаковка, смещенные в область слабокислых вод (до

6,1). Величины минерализации вод рек Ушаковка и Ангара близки между собой, в то время как для вод рек Иркут, Олха и Кая их значения более высокие (табл. 1).

При сравнении результатов гидрохимических наблюдений современного периода с данными, полученными в 1959 г. [2], установлено, что степень различий этих двух выборок в большей мере определяется природными факторами формирования состава вод. Наибольший вклад природной составляющей установлен для вод р. Олха. Повышение концентраций главных ионов определено на участке реки (точка наблюдений №12 на рис. 1) не подверженном воздействию промышленной зоны, и связано с поступлением высокоминерализованных подземных вод из скважины №27-БИС («Иркутская») в ее долине. В какой-то степени выявленные изменения гидрохимического состава реки нельзя назвать природными, т.к. подземная вода постоянно поступает из скважины организованного забора. Промышленный розлив воды «Иркутская» начался в 1968 г., когда была пробурена скважина глубиной 310 м, из которой на поверхность поднимается вода сбалансированного минерального состава. Вода, отобранная из скважины хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатная натриево-кальциевая. Результаты анализа проб воды р. Олха, отобранных до и после скважины (точки наблюдений №11 и №12 на рис. 1) в августе, показывают увеличение концентраций ( $\text{мг/дм}^3$ )  $\text{HCO}_3^-$  (от 61 до 74),  $\text{Cl}^-$  (от 1,4 до 2,5),  $\text{SO}_4^{2-}$  (от 6 до 18),  $\text{Ca}^{2+}$  (от 13,2 до 16,3) и  $\text{Na}^+$  (от 2,32 до 3,67). Далее их содержание несколько снижается, оставаясь повышенными до впадения в р. Иркут.

Существенный вклад в увеличение концентраций главных ионов вносит антропогенная составляющая — в точках отбора проб, расположенных в черте города, большинство рассматриваемых компонентов, как и величина минерализации, имеют более высокие значения. Максимальные изменения, возникшие вследствие антропогенного воздействия, установлены для вод р. Кая. На участке реки, находящемся в городской зоне, во все периоды опробования наблюдается увеличение концентраций всех главных ионов. Наиболее значимые изменения установлены для сульфатов, гидрокарбонатов и натрия (табл. 1).

В гидрохимическом составе вод изучаемых водотоков наблюдаются и сезонные изменения. В период межени, характеризу-

**Ключевые слова:**  
р. Ангара, гидрохимический состав, природные и техногенные факторы

Таблица 1

Среднее содержание макрокомпонентов (мг/дм<sup>3</sup>) в воде водотоков г. Иркутска и прилегающих к нему территорий

Водоток	№ точки*	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	TDS
Иркутское вдхр.	1	70	0,7	5,7	16	3,2	3,6	0,98	98
	2	67	0,7	6,2	15	3,6	3,5	1,00	100
р. Ангара	3	69	0,9	6,2	16	3,5	3,7	1,13	100
	4	92	3,8	12,9	22	6,0	5,4	1,40	144
р. Ушаковка	5	88	0,7	12,3	18	7,3	3,1	0,64	130
	6	92	5,1	20,0	20	8,5	6,8	1,02	155
р. Иркут	7	110	0,9	16,3	29	7,3	2,9	1,79	169
	8	117	3,2	18,9	32	7,6	4,5	1,96	186
р. Кая	9	168	6,4	12,0	34	14,4	6,5	1,76	245
	10	197	20,7	35,5	47	19,5	9,1	3,60	334
р. Олха	11	107	5,3	28,5	27	10,2	5,7	1,47	187
	13	121	7,5	32,0	31	11,2	7,5	1,52	213
Скважина (п. Олха)	14	268	152,2	360,1	196	13,9	117,0	2,66	1111

\* точки соответствуют обозначениям на рис. 1.

ющийся наиболее низким уровнем воды в водотоке при минимальном притоке воды с водосборной площади, преобладающее значение имеют подземные воды. В этот период содержание всех макрокомпонентов, как и величина минерализации, повышается. Особенно это выражено для вод р. Олха, минерализация которых в марте достигала 377 мг/дм<sup>3</sup>. С началом весеннего половодья в воде реки происходит резкое снижение минерализации (средняя величина 108 мг/дм<sup>3</sup>), обусловленное таянием снегов. С августа поверхностный сток в реку уменьшается, расходы воды падают, а содержание главных ионов начинает неуклонно расти вплоть до зимнего максимума (минерализация в августе составляет 154 мг/дм<sup>3</sup>, в октябре — 172 мг/дм<sup>3</sup>).

Повышение минерализации в реках Иркут и Ушаковка на незагрязненных участках начинается с августа, резко возрастает в октябре и достигает максимальных значений в марте (р. Иркут — с 127 до 202 мг/дм<sup>3</sup>, р. Ушаковка — с 92 до 185 мг/дм<sup>3</sup>). В апреле, с поступлением в реку талых снеговых вод, минерализация начинает падать (169 и 125 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно).

В пробах воды р. Ангары, отобранных в районе непосредственного влияния промышленной зоны г. Иркутска, наблюдается увеличение минерализации по сравнению с водами Иркутского вдхр. Этот участок р. Ангара характеризуется неоднородностью состава вод по поперечному сечению, что

вызвано влиянием р. Иркут и поддерживается цепью островов на большом протяжении. Нами установлена прямая зависимость между изменениями концентраций главных ионов в устье р. Иркут и по левому берегу р. Ангары после его впадения. Вклад бокового притока в р. Ангару по правому берегу менее значителен, гидрохимический состав остается собственным составом реки. Это подтверждает и анализ полученных нами данных, указывающий на схожесть ионного состава вод правого берега Ангары с р. Ушаковка. Из вышесказанного следует, что повышенные концентрации макрокомпонентов у правого берега р. Ангары относительно Иркутского вдхр. связаны, в основном, с техногенной эмиссией.

Наибольшие изменения в составе р. Ангары характерны для сульфат-иона. Среднее содержание SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> вдоль правого берега реки за весь период исследований составило 5,6 мг/дм<sup>3</sup>, левого — 9,9 мг/дм<sup>3</sup>. По левому берегу р. Ангары, после впадения в нее р. Иркут, в воды реки поступают сточные воды авиационного завода, в которых концентрация SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> составляет 22 мг/дм<sup>3</sup>, Ca<sup>2+</sup> — 30,5 мг/дм<sup>3</sup> [3]. Ранее на примере сточных вод предприятия «Усольехимпром», содержащих большие количества хлора, натрия и сульфатов нами исследовано влияние сосредоточенного техногенного источника на гидрохимический состав р. Ангары. Установлено, что благодаря высокой самоочищающей

способности р. Ангары, связанной с особенностями гидрологического и гидрохимического режимов, значительные концентрации загрязняющих веществ снижаются до первоначального уровня на расстоянии не более 5 км ниже по течению [4]. Это дает основание предполагать, что увеличение концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $9,1 \text{ мг/дм}^3$ ) и  $\text{Ca}^{2+}$  ( $17,7 \text{ мг/дм}^3$ ) в воде р. Ангары на участке после воздействия на нее техногенной нагрузки (точка наблюдений №15), по сравнению с Иркутским вдхр. вызвано, главным образом, влиянием р. Иркут.

#### Биогенные элементы

Содержание азота и фосфора является более характерным показателем загрязнения вод от городских очистных сооружений, а также от поверхностного стока с садоводческих участков и животноводческих комплексов. По присутствию в воде форм азота, являющихся продуктом процесса превращения органических азотсодержащих веществ в неорганические, можно говорить о хозяйственно-бытовом загрязнении. Значительные количества иона аммония преимущественно связаны с разложением мочевины  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Обогащение вод азотом и фосфором, стимулирующих рост растений в водоеме, ведет к постепенному эвтрофированию водоемов.

В притоках содержание большинства биогенных элементов выше, чем в р. Ангаре и Иркутском вдхр., воды которого являются наиболее «чистыми» по этим показателям (табл. 2). В городской зоне концентрации всех форм азота в воде р. Ангары увеличиваются. Наиболее существенные изменения характерны для аммонийного азота. Концентрации  $\text{NH}_4^+$  в апреле изменяются от  $0,003$  до  $0,039 \text{ мг/дм}^3$ , в августе и октябре — от  $0,004$  до  $0,035 \text{ мг/дм}^3$  и от  $0,006$  до  $0,053 \text{ мг/дм}^3$ , соответственно.

Увеличение концентраций азота и фосфора в городской зоне отмечено как в р. Ангаре, так и в ее притоках. Наибольшую техногенную нагрузку, полученную вследствие увеличения содержания биогенных элементов, принимает на себя небольшой водоток — р. Кая, в пойму которой на протяжении нескольких лет происходит несанкционированный выброс отходов из канализационного коллектора. Повышение концентраций биогенных элементов, как и макрокомпонентов, по течению реки составляет 1-2 порядка (табл. 2). Значительные изменения состава вод р. Кая отмечены в летне-осенний период при максимальном поверхностном стоке с сельскохозяйственных и промышленных территорий. Так в октябре, по мере прохождения через город-

Таблица 2

Среднее содержание биогенных элементов ( $\text{мг/дм}^3$ ) в воде водотоков г. Иркутска и прилегающих к нему территорий

Водоток	№ точки*	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{PO}_4^{3-}$	F <sup>-</sup>
Иркутское вдхр.	1	0,16	0,003	0,005	0,018	0,20
	2	0,17	0,003	0,004	0,015	0,20
р. Ангара	3	0,28	0,004	0,032	0,018	0,20
	4	0,28	0,003	0,013	0,025	0,19
р. Ушаковка	5	0,46	0,004	0,080	0,056	0,12
	6	0,92	0,015	0,080	0,050	0,15
р. Иркут	7	0,58	0,006	0,030	0,023	0,15
	8	0,78	0,015	0,110	0,084	0,22
р. Кая	9	0,43	0,003	0,089	0,096	0,55
	10	0,96	0,084	0,170	0,180	0,63
р. Олха	11	0,53	0,008	0,057	0,027	0,30
	13	0,54	0,009	0,060	0,036	0,73
Скважина (п. Олха)	14	0,01	0,001	0,013	0,010	1,13

\* точки соответствуют обозначениям на рис. 1.

скую зону, концентрация  $\text{NO}_3^-$  увеличивается от 0,40 до 1,32 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{NO}_2^-$  — от 0,005 до 0,499 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{NH}_4^+$  — от 0,071 до 0,134 мг/дм<sup>3</sup>. По сравнению с другими исследуемыми водотоками, в воде р. Кая на порядок повышено содержание фосфора, наибольшие концентрации  $\text{PO}_4^{3-}$  зафиксированы в марте. Увеличение содержания фосфора по течению реки связано с поступлением фосфоросодержащих минеральных веществ, которые используются в качестве удобрений на сельскохозяйственных угодьях, расположенных в долине реки.

Наибольшие концентрации фосфора определены для вод р. Иркут в подледный период. Отметим, что увеличение концентрации неорганических соединений фосфора в р. Иркут в зимнюю межень зафиксировано и в работе [2]. В этот же период в воде реки отмечены максимальные концентрации  $\text{NO}_3^-$  (1,40 мг/дм<sup>3</sup>) и  $\text{NH}_4^+$  (0,379 мг/дм<sup>3</sup>). В летне-осенний период нашими исследованиями определена прямая зависимость изменения содержания биогенных элементов в воде р. Иркут от гидрохимического состава его притоков — рек Олха и Кая.

Основным источником загрязнения фтором рек Иркут и Олха является алюминиевый завод (г. Шелехов), выбросы которого при воздушном переносе распространяются на весь бассейн этих водотоков [5]. На территории промплощадки завода также происходит загрязнение подземных вод, а в период снеготаяния наблюдается поверхностный смыв загрязняющих веществ в р. Олха [6]. Наибольшие вариации концентраций  $\text{F}^-$  по длине изучаемых водотоков отмечены в р. Олха (табл. 2). Выявлено, что поступление  $\text{F}^-$  в эту реку происходит не только вследствие антропогенного воздействия, большие количества этого элемента содержат и минеральные воды бассейна реки. Концентрации фтора в воде р. Олха существенно повышается в районе скважины, понижаясь через 1 км до значений, определенных до впадения в нее подземных вод. В зоне влияния алюминиевого завода концентрация  $\text{F}^-$  в реке вновь увеличивается, оставаясь несколько повышенной до впадения её в р. Иркут. Максимально зафиксированное значение определено в марте, в период, когда преобладает подземное питание реки.

Наименьшие концентрации фтора определены в р. Ушаковка и могут быть объяснены особенностью питания реки, которое, главным образом, связано с поверхностным сто-

ком при малой доле подземного питания [2]. Как талые, так и дождевые воды поступают в реку обедненные растворенными веществами.

Достаточно четко прослеживаются закономерности в сезонном распределении биогенных элементов на участках рек бассейна р. Ангары, не подверженных воздействию техногенных источников. В большинстве исследованных водотоков концентрации нитратного и нитритного азота повышаются в зимний период, при увеличении доли грунтового питания реки. Показательными являются сезонные изменения биогенных элементов в водах р. Олха. Максимальные концентрации в марте характерны для нитрат- и нитрит-ионов. В период снеготаяния концентрации  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$  минимальны. Закономерное увеличение концентраций  $\text{NH}_4^+$  наблюдается в августе-октябре при усилении процесса распада накопившегося за лето органического вещества [7]. Наименьшие концентрации общего фосфора в р. Олха отмечены в зимний период, а наибольшие — в летний, когда развитие фитопланктона и высшей водной растительности достигает своего максимума.

Сезонные изменения биогенных элементов в водах Иркутского вдхр. и р. Ангары можно сравнить с подобными процессами, происходящими в оз. Байкал. Как показано в работе [8], максимум содержания нитратного азота в поверхностной воде оз. Байкал приурочен к зимнему периоду, весной происходит резкое уменьшение его концентрации, которое несколько повышается июне-июле. В августе содержание  $\text{NO}_3^-$  вновь понижается, сменяясь постепенным ростом в осенне-зимние месяцы. Такие вариации нитрат-иона в озере обусловлены, главным образом, сезонными явлениями в жизни фитопланктона [8]. Подобное распределение  $\text{NO}_3^-$  наблюдается в Иркутском вдхр. и в р. Ангаре. Исключение составляет увеличение концентраций  $\text{NO}_3^-$  в августе по левому индустриальному берегу р. Ангары. Наши исследования не обнаружили влияния вод р. Иркут на содержание нитрат-иона на этом участке р. Ангары, как это было показано для макрокомпонентного состава реки. Следовательно, повышенные концентрации  $\text{NO}_3^-$  в р. Ангаре являются следствием техногенного воздействия. Необходимо также отметить выявленное нами повышение концентрации  $\text{NO}_2^-$  в городской зоне Ангары во все сезоны года, что указывает на загрязнение водоема [7].

## Заключение

По результатам проведенных исследований дана оценка современного гидрохимического состава вод р. Ангары и ее притоков в зоне влияния агломерации г. Иркутска. Установлено, что из всех исследованных рек воды р. Кая наиболее подвержены изменению под действием техногенной нагрузки. Вариации в составе вод рек Ангары, Олха, Иркут, Ушаковка зависят как от природных, так и антропогенных факторов. Изучение распределения макрокомпонентов и биогенных элементов в реках в различные гидрологические сезоны позволяет утверждать, что в большей степени изменение состава рек происходит под действием природных факторов, основным из которых является тип питания реки. Тем не менее, нельзя исключать и антропогенную составляющую, которая проявляется с различной интенсивностью в зависимости от сезона года.

Таким образом, показано, что природные и антропогенные факторы совместно влияют на увеличение концентрации макрокомпонентов и биогенных элементов в водах рек, в значительной мере усиливая воздействие друг друга. С другой стороны, природные факторы, такие как естественное повышение уровня воды в половодье, могут существенно ослаблять антропогенное воздействие.

*Работа поддержана грантом РФФИ №12-05-98089-р\_сибирь\_а.*

## Литература

1. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. Семенова А.Д. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 540 с.
2. Бочкарев П.Ф. Гидрохимия рек восточной Сибири. Иркутск: Вост. Сиб. изд-во, 1959. 156 с.
3. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области за 2010 год. Иркутск: ООО Форвард, 2011. 400 с.
4. Алиева В.И. Гидрохимическая характеристика реки Ангары в районе влияния Усольского промышленного узла / В.И. Алиева, М.В. Пастухов // География и природные ресурсы. 2012. № 1. С. 68–73.
5. Belogolova V.A. Environmental geochemical mapping and assessment of anthropogenic chemical changes in the Irkutsk-Shelekhov region, southern Siberia, Russia / V.A. Belogolova, P.V. Koval // J. Geochem. Explor. 1995. V. 55. P. 193–201.
6. Кучменко Е.В. Оценка вклада промышленной зоны города Шелехова в загрязнение геосистемы долины р. Олхи / Е.В. Кучменко, М.С. Зароднюк, О.А. Балышев, Е.В. Чипанина, И.В. Томберг, Л.М. Сороковикова, Н.А. Онищук // Изв. Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11. № 1–3. С. 300–306.
7. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. 444 с.
8. Вотинцев К.К. Гидрохимия озера Байкал. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 311 с.



V.I. Alieva, N.A. Zagorulko

## INFLUENCE OF NATURAL AND TECHNOGENIC FACTORS ON HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF RIVERS OF INDUSTRIAL AREA OF THE IRKUTSK TOWN

The article represents results of research of the Angara River and its basin rivers located on industrial area of the Irkutsk town. Natural and technogenic factors influencing on change of water chemical composition were detected. Fluctuations of macro-components and biogenic elements in spatial-temporal cycle were shown.

**Key words:** the Angara River, hydrochemical composition, natural and technogenic factors.