

**ТРЕНДЫ ДИНАМИКИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОД БАСЕЙНА РЕКИ УССУРИ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

Т.Н. Луценко

*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, ул. Радио, 7,
Владивосток, 690041, Россия. E-mail: luts@tig.dvo.ru*

На основе собственных и литературных данных о содержании главных ионов и биогенных элементов изучена пространственно-временная изменчивость состава поверхностных вод бассейна р. Уссури. Сопоставление концентраций этих компонентов в предшествующие десятилетия и настоящее время позволяет сделать вывод об улучшении качества вод в основных водотоках российской части бассейна. Для трансграничного участка реки Сунгача показана антропогенная трансформация состава вод.

**DYNAMIC OF TRENDS OF THE SURFACE WATER CHEMICAL COMPOSITION
OF THE USSURY RIVER BASIN (PRIMORYE TERRITORY)**

T.N. Lutsenko

*Pacific Institute of Geography, FEB RAS, 7 Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia.
E-mail: luts@tig.dvo.ru*

Based on own and literature data on the content of major ions and nutrients the spacio-temporal variability of the Ussury River basin water composition has been studied. Comparison of concentrations of the components of past decades with present ones suggests an improvement in water quality in the major rivers of the Russian part of the basin. Transboundary river section of the Sungacha River shows anthropogenic transformation of water composition.

Поддержание качества поверхностных вод необходимо для устойчивого функционирования экосистем, сохранения их биоразнообразия. Нормативное качество поверхностных вод является важнейшим условием социально-экономического развития.

Трансграничная река Уссури – один из крупных притоков реки Амур. Длина реки составляет 897 км, средний многолетний сток – около 42,3 км³/год (в устье). Уссури берет начало на южном склоне Сихотэ-Алиня (гора Снежная, 1684 м). С востока и с юга бассейн ограничивается хребтом Сихотэ-Алинь, с запада – Сянцзянской равниной.

Площадь водосбора – 193 000 км², две трети из них являются российскими, одна треть принадлежит КНР. Крупнейшее на Дальнем Востоке оз. Ханка с площадью водной поверхности 4070 км² относится к бассейну Уссури, длина российско-китайской границы по озеру 70 км. Из озера вытекает р. Сунгача, левобережье её принадлежит КНР. Часть русла Уссури от впадения реки Сунгача до устья является государственной границей.

Бассейн Уссури характеризуется среднегодовым количеством осадков 600–800 мм, 90 % из них выпадает в течение теплого сезона. Питание рек в основном дождевое, снеговое составляет 5–20 %, подземное – 10–20 %. Максимальные расходы наблюдаются в мае и августе, редко в июле или сентябре, наименьшие расходы – в феврале–марте (Ресурсы..., 1972).

Первые данные о химическом составе поверхностных вод бассейна р. Уссури были получены в Лаборатории Уссурийской железной дороги и опубликованы более 100 лет назад (Оссендовский, 1906). Выполненные исследования охватывали поверхностные воды рек Уссури, Хор, Иман, Лефу, Даубихэ, Улахэ, Бикин, Сунгача, оз. Ханка. С 1941 г. систематические режимные наблюдения за химическим составом поверхностных вод осуществляет Примгидромет, ныне Дальневосточное УГМС, государственное учреждение, располагающее на сегодня самым масштабным рядом данных.

Уникальность поверхностных вод заключается в том, их состав весьма динамично отражает процессы, происходящие на водосборах. Поэтому социально-экономические изменения, происходящие в последние десятилетия по обе стороны от границы, закономерно привели к изменению масштабов водопотребления и его структуры. Опубликованные ранее работы по гидрохимии бассейна Уссури (Зенин и др., 1987; Чудаева, 2002; Шестеркин, Шестеркина, 2009; Шулькин и др., 2009; Никаноров, Брызгалов, 2011) в последние годы дополнены новыми данными, сравнительный анализ которых может выявить современные пространственно-временные тренды формирования состава поверхностных вод данной территории.

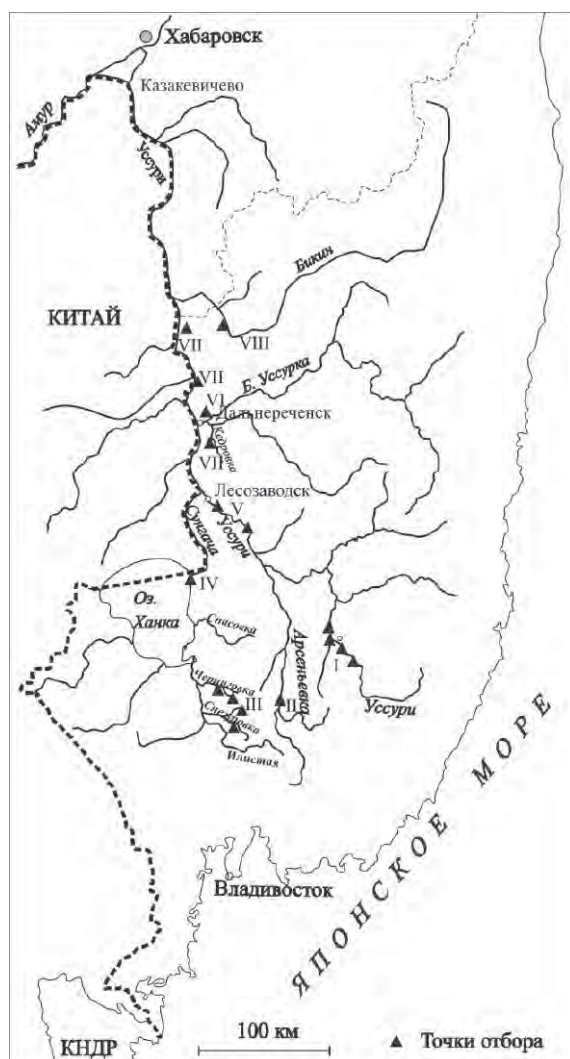


Рис. Карта-схема района работ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2008–2013 гг. в бассейне р. Уссури в 8 основных районах-пунктах: I. Верхнее течение: р. Соколовка – с. Соколовка, р. Уссури – с. Булыга-Фадеево; р. Уссури – с. Чугуевка; р. Уссури – с. Новомихайловка; II. р. Арсеньевка – с. Анучино; III. Реки Приханкайской равнины (Васиановка, Снегуровка, Черниговка, Грибная); IV. р. Сунгача – исток; V. р. Уссури – г. Лесозаводск; VI. р. Большая Уссурия – г. Дальнереченск; VII. Реки Среднеуссурийской равнины (Крутобережная, Челдонка, Кедровка); VIII. р. Бикин – с. Алчан; Схема расположения районов-пунктов опробования приведена на рисунке. Характеристика основных водотоков приведена в таблице.

Пробы воды отбирали с поверхности в основном в мае–октябре, зимой – на р. Уссури у г. Лесозаводска, на р. Сунгача – в истоке. В последнем пункте отбор проводили на середине русла, у правого, российского и левого, китайского берега.

В лаборатории пробы фильтровали под вакуумом через мембранные фильтры с размером пор 0,4 мкм. Пробы воды анализировали по стандартным методикам: pH и щелочность – потенциометрически, концентрации калия и натрия – пламенной эмис-

Таблица

Характеристика основных районов наблюдений в бассейне р. Уссури (Ресурсы..., 1972)

Район	Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовой сток, м ³ /с	Число проб
I	р. Соколовка – с. Соколовка	291	2,45	4
I	р. Уссури – с. Булыга-Фадеево	–	–	4
I	р. Уссури – с. Чугуевка	3960	38,5	1
I	р. Уссури – с. Новомихайловка	5170	43,8	5
II	р. Арсеньевка – с. Анучино	2480	21,2	5
III	р. Снегуровка – с. Снегуровка	473	3,63	2
III	р. Вассиановка – с. Вассиановка	233	–	3
III	р. Черниговка – с. Черниговка	322	2,06	4
III	р. Грибная – с. Черниговка	11,9	–	2
IV	р. Сунгача – исток	25 600	50	22
V	р. Уссури – г. Лесозаводск	26 200	237	8
VI	р. Большая Уссурка – г. Дальнереченск	29 500	345	9
VII	р. Кедровка – с. Рождественка	179	–	3
VII	р. Крутобережная – с. Губарево	126	–	2
VII	р. Челдонка – ур. Кочкарное	42,9	–	2

сионной спектрометрией, кальция и магния – атомно-абсорбционной спектрофотометрией на спектрофотометре AA 6800 (Shimadzu). Содержание хлорид-, сульфат-, нитрат-ионов определяли ионообменной хроматографией на хроматографе LC-10VP (Shimadzu). Концентрации биогенных элементов анализировали фотометрически после проведения реакций: для ионов аммония – с реактивом Несслера, нитрит-иона – с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)-этилендиамином солянокислым, фосфат- и силикат-ионов – с молибдатом аммония – в соответствующих условиях (Руководство..., 1977). Содержание растворенного органического углерода определяли методом каталитического сжигания (ТОС-VCPN, Shimadzu). Электронные спектры поглощения фильтратов были записаны в интервале длин волн 200–600 нм на спектрофотометре Shimadzu UV-1650 PC в кварцевой кювете толщиной 1 см относительно бидистиллированной воды. Молярные коэффициенты экстинкции рассчитывали для длины волны 280 нм.

Результаты и обсуждение

Для территории бассейна р. Уссури характерно высокое разнообразие природных и антропогенных ландшафтов. В верхней части водосбора формирование химического состава поверхностных вод обусловлено преобладанием горно-таежных ландшафтов над равнинами, воды среднего и нижнего течения формируются на равнинных участках. Основная площадь массива Сихотэ-Алинь, охватывающего большую часть бассейна р. Уссури, сложена мощной толщей нижнемеловых терригенно-кремнистых и флишеидных пород – алевролитов и песчаников с незначительной долей вулканогенных образований, представленных комплексом пород кислого состава (Геология..., 1969). Особенностью состава данных пород является их высокая устойчивость к химическому выветриванию (Аржанова, Елпатьевский, 2005).

Концентрации всех компонентов связаны с гидрологическим режимом, поскольку во-первых, при непосредственном участии воды происходят все биогеохимические реакции: в аэрозолях атмосферы, на поверхности вегетативных органов растений, в почве, на поверхности пород и минералов. Во-вторых, все эти процессы происходят в водной среде и количество воды определяет степень разбавления выщелоченных соединений.

По химическому составу воды бассейна р. Усури – нейтральные, гидрокарбонатно-кальциевые, с низкой минерализацией. В период исследования рН вод изменялся в интервале от 6,3 до 7,9 при среднем значении 7,1. Наименьшие значения обусловлены влиянием болотных участков, таких, как в верхнем течении р. Арсеньевка и в нижнем течении р. Бикин, где продуцируется и подвергается замедленной трансформации большое количество органического вещества фульватной природы. Наибольшие значения рН характерны для вод р. Сунгача, генетически связанной с оз. Ханка.

Минерализация вод (сумма растворенных неорганических компонентов макроэлемента) варьирует в широком диапазоне. Низкие величины минерализации (25–30 мг/л) типичны для вод верховьев на высотах более 1200 м (Аржанова, Елпатьевский, 2005). В большинстве водотоков, исключая р. Сунгача, средняя величина минерализации в паводки изменяется от 30 до 70 мг/л. Гораздо более резкие различия проявляются в межень от 38 до 149 мг/л. Наибольшая вариабельность данных, как отмечалось ранее, наблюдается на малых водотоках (Шулькин и др., 2009, Никаноров, Брызгалов, 2011), в данном случае это малые реки Приханкайской равнины Снегуровка, Вассиановка, Черниговка, Грибная, подверженные сильному локальному антропогенному загрязнению.

Концентрации гидрокарбонат-иона в водотоках, исключая р. Сунгача, варьировали в пределах 12–56 мг/л при высокой водности и изменялись в диапазоне 20–100 мг/л при более низкой. Содержания хлорид- и сульфат-ионов установлены в пределах 0,2–4,0 мг/л и 4–20 мг/л, соответственно. Концентрации кальция изменялись от 2 до 6 мг/л при более высоких уровнях воды и от 4 до 14 мг/л при более низких.

Воды р. Сунгача, в отличие от остальных рек бассейна р. Усури, содержат в 2–3 раза больше солей, поскольку в истоке они фактически являются водами оз. Ханка. Причины такой разницы в минерализации вод Усури и оз. Ханка до сих пор не установлены, хотя можно назвать некоторые из возможных. Водосбор оз. Ханка расположен в пределах Усури–Ханкайско–Раздольненской тектонической депрессии и характеризуется сложной геологической историей. Воды озера, в отличие от рек бассейна Усури, формируются на водосборе с высоким содержанием обменных катионов в почвах (Росликова и др., 2010). В 1980-е годы экосистема озера находилась под сильным антропогенным прессом. На мелиорированных землях, опоясывающих оз. Ханка более чем на 150 км, в больших количествах применялись минеральные удобрения и пестициды. Помимо этого, озеро является конечным пунктом приема хозяйственно-бытовых стоков населенных пунктов, расположенных на его водосборе. Основной поток веществ приходит с водами р. Илистая и, в значительной степени, – р. Спасовка (Чудаева, 2002). Возможной причиной повышенной минерализации вод также может быть поток подземных вод, существование которого не исключается (Kachur et al., 2001; Чудаева, 2002).

Максимальные концентрации растворенных солей в водах р. Сунгача отмечены зимой, весной их содержание ниже в 1,2–1,7 раза. Распределение содержания ионов по гидрологическому створу неравномерное. Зиме 2012 г. предшествовал аномально сухой сезон лета–осени 2011 г. Распределение минерализации по поперечному створу от левого берега к правому представляло ряд 223–154–156 мг/л, свидетельствуя о влиянии левобережной части бассейна. Следующая зима 2013 г. наступила после аномально влажного летне-осеннего сезона 2012 г. Распределение минерализации по ширине реки было гораздо менее контрастным: 165–157–145 мг/л в феврале 2013 г., соответственно. Среди неорганических ионов наиболее контрастным поведением характеризуются хлориды и сульфаты: возле левого берега их концентрации в феврале 2012 г. составляли 27 и 61 мг/л,

возле правого берега – 9 и 19,5 мг/л. Соответственно, в феврале 2013 г. концентрации хлорид- и сульфат-ионов достигали 19 и 19,4 мг/л у левого берега, возле правого берега они были немного ниже, чем в 2012 г., а именно: 8,4 и 18,3 мг/л.

Концентрации растворенного органического углерода (РОВ) варьировали от 1,5 до 11,8 мг/л, со средним значением 5,3 мг/л, что немного ниже средней величины 5,8 мг/л для незагрязненных рек мира (Meуbeck, 1982). Гидрологический режим один из главных факторов подвижности РОВ на водосборе. При этом, благодаря почвенному происхождению и мобилизации из верхних почвенных горизонтов, сезонное распределение РОВ отчасти противоположно распределению ионов макросостава. В периоды повышенной водности концентрации РОВ максимальны для верхнего течения р. Арсеньевка и нижнего течения р. Бикин, где происходит мобилизация РОВ с заболоченных участков. Для р. Сунгача характерны значительно более низкие (2–4 мг/л) концентрации углерода РОВ в связи с ее озерным генезисом.

Измеренные величины коэффициентов экстинкции вод изменялись от 170 до 450 л/моль×м. Наибольшие значения получены для рек Уссури, Б. Уссурка, Бикин, имеющих высокую долю залесенных водосборов с преобладающим фульватным типом гумуса. Наиболее низкие значения коэффициентов экстинкции получены для вод р. Сунгача. Это подтверждает более высокую долю алифатичных углеводных компонентов в РОВ, формирующуюся за счет автохтонных источников в озере. Возможно что одной из причин здесь является также высокая мутность озерных вод, при этом аллохтонное РОВ, приносимое с водосборов, может сорбироваться на поверхности тонкой минеральной взвеси.

Содержание биогенных элементов свидетельствует об их существенной пространственно-временной динамике, хотя концентрации в целом не высоки. Концентрации неорганических форм азота – аммонийной, нитритной и нитратной изменялись от аналитического нуля до 0,350, 0,008 и 0,400 мг N/л со средними значениями 0,120, 0,001 и 0,130 мг N/л. Нитратный азот показал себя наиболее динамичной и вариабельной формой азота. Наибольшие концентрации аммонийного азота отмечены для верхнего течения р. Арсеньевка, нижнего течения р. Бикин, а также малых рек Среднеуссурийской равнины. И это обусловлено естественными причинами, т.к. для этих водотоков характерно присутствие заболоченных участков, где происходит накопление органического вещества за счет его консервации и замедленной трансформации.

В р. Бикин во все сезоны аммонийная форма азота была преобладающей над нитратной. В водах малых рек Среднеуссурийской равнины концентрация аммонийного азота превышала долю нитратного в теплый период. В среднем течении р. Уссури (Лесозаводск) аммонийный азот незначительно преобладал над нитратным зимой, но был ниже нитратного в теплый период.

Содержание нитритного азота, являющегося неустойчивым промежуточным продуктом нитрификации в водах, находится на уровне первых микрограммов в литре, однако, нитрит-ион является хорошим индикатором антропогенного загрязнения вод. В верхней и средней частях бассейна содержание нитритного азота составляет 0,001–0,003 мг N/л. В водах р. Сунгача концентрация нитрит-иона в февральскую межень 2012 г. достигала 0,010 мг N/л у левого берега.

Анализ информации по вариабельности концентраций неорганических форм азота и фосфора за периоды 1941–1983, 1985–2004 и 2005–2009 гг. показывает, что в районах верхнего и среднего течения р. Уссури существенно снизились уровни максимальных концентраций (Зенин и др., 1987; Никаноров, Брызгалов, 2011; Федеральное..., 2012). Наибольшие изменения во времени характерны для содержания минеральных форм азота. Сопоставление с результатами наших исследований позволяет прийти к выводу о том, что для среднего течения р. Уссури (Лесозаводск) содержание аммонийного и нитритного азота снизилось в несколько раз; нитратного – более, чем в 3 раза. Одновременно изменились соотношения концентраций минеральных форм азота. В среднем течении р. Уссури (Лесо-

заводск) вследствие уменьшения использования органического вещества и минеральных удобрений практически на порядок (Внесение..., 2011), нитратная форма азота стала преобладающей и превышает содержание аммонийной в 3,3 раза (Луценко и др., 2013).

В р. Сунгача содержание аммонийной и нитратной форм азота было невысоким, максимальные концентрации не превышали 0,100 и 0,200 мг N/л. В зимний и весенний сезоны нитратный азот являлся доминирующей формой, однако в сезон лета–осени, из-за усиления микробальной активности в процессах минерализации органического вещества, преобладал аммонийный азот.

В китайской части оз. Ханка в зоне рыбопроизводного промысла концентрации минеральных форм азота изменялись более широко (Lu Ling et al., 2011). Содержание аммонийного азота находилось в пределах 0,003–1,760 мг N/л, со средним значением 0,791 мг N/л; содержание нитратного азота – в пределах 0,055–0,215 мг N/л, при среднем 0,142 мг N/л. Концентрация нитритного азота изменялась в интервале 0,014–0,168 мг N/л со средним значением 0,067 мг N/л. Интересно, что, по мнению китайских исследователей, вода в озере имеет достаточно хорошее качество для искусственного разведения рыбы. Однако по российским нормам ПДК для водоемов рыбохозяйственного использования уровни концентраций по аммонийному и нитритному азоту были превышены в 4 и 10 раз, соответственно.

После двадцатилетия интенсивного антропогенного воздействия на экосистему оз. Ханка в 1960–1980-е годы, в конце 1990-х годов (по оценке качества вод российской части озера) наступил период постепенного восстановления, совпавший с периодом естественного повышения уровня воды в озере (Kachur et al., 2001). В это время снизились концентрации минеральных форм азота, уменьшилось соотношение аммонийной и нитратной форм. Судя по обобщенным данным Приморского УГМС (2008–2010 гг.), этот период продолжается и по настоящее время (Федеральное..., 2012)

Концентрации растворенного фосфора (фосфатов) изменялись от 0 до 0,200 мг/л при среднем значении 0,020 мг/л. В водах рек Уссури, Арсеньевка, Б. Уссурка, Бикин, так же как и в водах многих малых рек Сихотэ-Алиня (Форина и др., 2013), средние концентрации варьировали в интервале 0,005–0,020 мг/л, что типично для незагрязненных рек мира (Meуbeck, 1982). В водах малых рек Приханкайской и Среднеуссурийской равнин средние концентрации фосфора были немного выше, представляя диапазон концентраций 0,020–0,030 мг/л.

Наибольшие концентрации фосфора определены в р. Сунгача в феврале. Они составили 0,200 и 0,100 мг P/л в маловодный 2012 и экстремально многоводный 2013 годы, соответственно. Эти концентрации здесь на порядок выше, чем в водах среднего течения р. Уссури (Лесозаводск). В теплый период концентрации фосфора в водах р. Сунгача выше, чем в водах рек бассейна Уссури в 2–3 раза.

Содержание фосфора до 0,200 мг P/л (ПДК для рыбохозяйственных водоемов) были характерны для вод озера в теплый период 1990-х годов, когда имела место аккумуляция биогенов из загрязненных вод р. Спасовка (Чудаева, 2002). Согласно другим данным (Евсеев, 2004), в 2000-х годах концентрации растворенного фосфора в теплый сезон в озере фиксировались в диапазоне 0,060–0,128 мг/л в юго-восточной части озера, включая заповедные участки. Среднегодовые данные последних лет, полученные Дальневосточным УГМС (Федеральное..., 2012) для вод озера, характеризуют наличие фосфатов в концентрациях 0,1–0,3 мг P/л, т.е., по-прежнему достаточно высоких.

Сезонное распределение фосфора в воде р. Сунгача, по-видимому, отражает его биологическое потребление водной растительностью, особенно в мае–июне. Высокий зимний пик концентраций соответствует периоду разложения биомассы в отсутствие потребления фосфора фитопланктоном. Таким образом, повышенные концентрации фосфатов могут поддерживаться за счет ассимиляции фосфора фитопланктоном.

Фосфаты железа, кальция, алюминия могут сорбироваться на озерной взвеси, содержание которой достигает в теплый период 100–200 мг/л. Аккумулированные в донных

осадках малорастворимые фосфаты типоморфных элементов могут представлять собой источник длительного поступления фосфатов в воду и, в частности, фосфаты железа, за счет восстановительных процессов в донных осадках при недостатке кислорода способны переходить в растворимое состояние.

По гидрохимическим данным китайских исследователей (Lu Ling et al., 2011) концентрации фосфора у китайского берега озера были в теплый сезон сходны с вышеупомянутыми данными российских специалистов. В районе рыбного промысла на Малой Ханке в мае, июле и сентябре они составили 0,093, 0,196 и 0,143 мг P/л, соответственно, при средней величине 0,145 мг P/л. Авторы оценивают статус озера как эвтрофный, а качество воды считают достаточно хорошим для рыборазведения.

Пространственно–временное распределение кремния было наиболее закономерным и четким. Так же как и для литофильных компонентов макросостава его концентрации были ниже в период половодья в мае–июне, но возрастали период с июля по октябрь. Концентрации колебались от 2 до 10 мг/л, со средним значением 5,34 мг/л. Наибольшими значениями характеризовались воды р. Арсеньевка, дренирующей Шкотовское базальтовое плато в верхнем течении. Самые низкие концентрации кремния (1–2 мг/л) определены в р. Сунгача в мае благодаря активному биологическому потреблению кремния фитопланктоном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в бассейне р. Уссури происходят различные по своему результату биогеохимические процессы. Наиболее явно это проявилось в пространственно–временной динамике биогенных элементов. Сопоставление концентраций минеральных форм азота, полученных в ходе исследования, с литературными сведениями, а также сопоставление литературных данных разных периодов времени, позволяет прийти к выводу, о том, что для рек верхней и средней частей бассейна р. Уссури концентрации содержания аммонийного и нитритного азота снизились в несколько раз. Одновременно изменились соотношения концентраций минеральных форм азота: средние концентрации нитратного азота выросли в несколько раз. В большинстве случаев нитратная, т.е. окисленная форма азота превышает концентрацию аммонийной. Такое изменение обусловлено сокращением масштабов экономической деятельности в бассейне, снижением поступления органического вещества, уменьшением применения минеральных удобрений и улучшением кислородного режима. Соединения минерального азота характеризуются хорошей растворимостью в воде и его утилизация обеспечивается коротким биогеохимическим циклом данного элемента.

Воды р. Сунгача резко отличаются от остальных рек бассейна благодаря своей связи с оз. Ханка. Это проявляется в более высокой минерализации и концентрациях растворенного фосфора, которые остаются на уровне его концентраций в период максимального развития сельского хозяйства Приморья в 80–90-е годы прошлого века. Высокие концентрации фосфора могут поддерживаться за счет биотического круговорота с участием фитопланктона. Кроме этого, оз. Ханка является озером лессового типа и характеризуется высоким содержанием взвеси, при этом, растворимые соединения фосфора сорбируются на поверхности минеральных частиц, образуя малорастворимые фосфаты кальция, железа и алюминия. Аккумулированные в донных осадках малорастворимые фосфаты могут представлять собой источник длительного поступления фосфора в воду.

ЛИТЕРАТУРА

Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. 2005. Геохимия, функционирование и динамика горных геосистем Сихотэ–Алиня. Владивосток: Дальнаука. 247 с.

Внесение удобрений и химическая мелиорация земель сельскохозяйственными организациями. 2011. Стат. Сборник. Владивосток: Приморскстат. 28 с.

- Геология СССР. 1969.** Приморский край. Ч. 1. Т. 32. М.: Недра. 695 с.
- Зенин А.А., Погадаев Г.И., Цыцарин Г.В. 1987.** Гидрохимический режим водотоков бассейна реки Уссури // *Гидрохимические материалы*. Т. 14. С. 3–17.
- Евсеев А.В. 2004.** Оценка состояния реки Илстой и ее притоков по химико-экологическим и микробиологическим показателям: автореф. дис....канд. биол. наук. Владивосток. 22 с.
- Луценко Т.Н., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2013.** Пространственно-временная динамика химического состава речных вод российской части бассейна р. Уссури // *Водное хозяйство России*. № 3. С. 65–80.
- Никаноров А.М., Брызгалов В.А. 2011.** Реки России. Ч. IV. Реки Дальнего Востока (гидрохимия и геоэкология). Ростов-на-Дону: НОК. С. 162–201.
- Осендовский А.М. 1906.** К вопросу об изучении гидрологии нашего дальнего востока // *Журнал русского физико-химического общества*. Т. 38, ч. 2. С. 1074–1079.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1972.** Дальний Восток. Приморье. Т. 18, вып. 3. Л.: Гидрометеиздат. 245 с.
- Росликова В.И., Рыбачук Н.А., Короткий А.М. 2010.** Атлас почв юга Дальнего Востока России (Приханкайская низменность). Владивосток: Дальнаука. 247 с.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. 1977.** Л.: Гидрометеиздат. 540 с.
- Федеральное агентство водных ресурсов РФ. Амурское бассейновое водное управление. 2012.** Проект нормативов допустимого воздействия (НДВ) по бассейну реки Амур: Уссури. http://www.amurbvu.ru/files/NDV_na_r.Ussuri.pdf
- Форина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2013.** Фосфор в воде таежных рек северного Сихотэ-Алиня // *Тихоокеанская геология*. Т. 32, № 1. С. 116–119.
- Чудаева В.А. 2002.** Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 389 с.
- Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2009.** Гидрохимическая характеристика р. Уссури // *Вопросы гидрологии и гидроэкологии Урала: юбилейный сборник научных трудов*. Пермь: ПГУ. С. 73–77.
- Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. 2009.** Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // *Вод. ресурсы*. Т. 36, № 4. С. 428–439.
- Kachur A.N., Jin X., Baklanov P.Ya., Ganzey S.S. et al. 2001.** Diagnostic analysis of the Lake Khanka basin (Peoples Republic of China and Russian Federation). UNEP/CRAES/PGI FEBRAS. 136 p.
- Lu Ling, Zhao Cai-xia, Chen Zhon-Xiang et al. 2011.** Analysis of Nitrogen and Phosphorus contents and assessment on potential eutrophication of water in Xinkai Lake // *Heilongjian science*. V. 2, N 3. P. 1–3.
- Meysbeck M. 1982.** Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers // *Amer. J. Sci.* V. 282, N 4. P. 401–450.