### ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРНИТОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ОСТРОВОВ СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ

### А. Н. Иванов, И. А. Авессаломова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия, 119991 Москва, Ленинские горы e-mail: a.n.ivanov@mail.ru, landrus@geogr.msu.ru

Поступило в редакцию 2 февраля 2012 г.

Анализируются особенности химического состава поверхностных вод и особенности водной миграции элементов на островах с крупными скоплениями морских колониальных птиц. Установлено, что орнитогенный фактор формирования состава поверхностных вод в подобных экосистемах является ведущим. Информативными гидрохимическими параметрами, отражающими влияние птиц на интенсивность водной миграции, выступают биогенные элементы (N, P, S, K). Показано, что вокруг островов с колониями морских птиц формируются обширные зоны биогеохимического влияния.

*Ключевые слова*: остров, морские птицы, влияние, поверхностные воды, миграция элементов, сущаморе.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Своеобразная природа островов привлекает внимание ученых разных специальностей. Наиболее яркое выражение ее специфика нашла в теории островной биогеографии, объяснившей необычные черты растительного и животного мира островов [1]. Вместе с тем до настоящего времени многие особенности их природы остаются недостаточно изученными. Одна из специфических островной природы – возможность формирования при определенных условиях необычных орнитогенных ландшафтов, отсутствующих на материке. При высокой биопродуктивности прилегающих морских вод и наличии подходящих местообитаний на островах, а также при отсутствии наземных хищников и человека птицы способны заселять весь остров от пляжей до вершинных поверхностей. Численность населения птиц на таких островах может исчисляться миллионами особей, и существуют птичьи базары веками и тысячелетиями. Крупные многовековые скопления птиц изменяют почти все природные компоненты, формируя специфический орнитогенный микрорельеф на большей части островов, трансформируя

почвенно-растительный покров, химический состав поверхностных и грунтовых вод, выступая системообразующим фактором для всей островной экосистемы [2]. Основные составляющие влияния птиц на островную природу - зоомеханогенез и сильнейший геохимический прессинг. По разным оценкам, только одна пара чаек с потомством за период поставляет В гнездовой островную экосистему от 85 [3] до 170 кг [4] экскрементов. В питании морских колониальных птиц преобладает рыба и морские беспозвоночные. Общее свойство всех морских кормов - высокое содержание N, P, S, а также целой группы микроэлементов (Cu, Zn, Cd, Fe и др.) [5]. Одна часть элементов задерживается на биогеохимических барьерах в фитоярусе и в сухоторфяных горизонтах почв [6, 7], а другая со стоком поступает в прилегающую морскую акваторию, влияя на видовой состав и продуктивность подводных биоценозов [8, 9]. Таким образом, в островных орнитогенных экосистемах формируется специфический биогеохимический круговорот, связывающий в единую систему субаэральную и субмаринную части островов. Центральную роль в этом круговороте играет жизнедеятельность морских птиц, а одним

из важных звеньев круговорота является водная миграция элементов с поверхностным и грунтовым стоком.

Оценка химического состава вод, интенсивность водной миграции разных элементов, построение общей модели биогеохимического круговорота в орнитогенных экосистемах – задача настоящего времени не решенная. отечественной науке в этой области известны работы А. Н. Головкина [8, 10 и др.], показавшего на примере птичьих базаров в Баренцевом море существование обширных зон биогеохимического влияния вокруг скоплений морских колониальных птиц. В ряде работ анализировались биогеохимические аспекты функционирования орнитогенных экосистем, формирующихся на коралловых островах в тропической зоне Тихого океана [7, 11], включение в трофические цепи питательных веществ, поступающих в малые реки Новой Зеландии от колоний буревестника [12], поведение тяжелых металлов в местах гнездования чаек [13] и др. Влияние морских колониальных птиц как ландшафтообразующего фактора изучалось нами на нескольких островах Северной Пацифики, была предложена общая модель структурно-функциональной организации орнитогенной экосистемы, проанализировано воздействие птиц на процессы автотрофного биогенеза, затрагивались некоторые аспекты водной миграции элементов на отдельных островах [9, 14, 15]. Однако обобщающих работ в этой области практически нет.

Цель настоящей статьи — установить основные закономерности водной миграции элементов в орнитогенных экосистемах островов Северной Пацифики. Решаемые задачи — сравнительный анализ химического состава поверхностных вод и условий их формирования на различных островах с колониями птиц; выявление специфики географического положения и ландшафтных особенностей островов, влияющих на состав вод; поиск информативных гидрохимических параметров, отражающих влияние орнитогенного фактора на интенсивность водной миграции элементов; оценка влияния скоплений крупных морских птиц на прилегающую акваторию.

#### Объекты и методы исследований

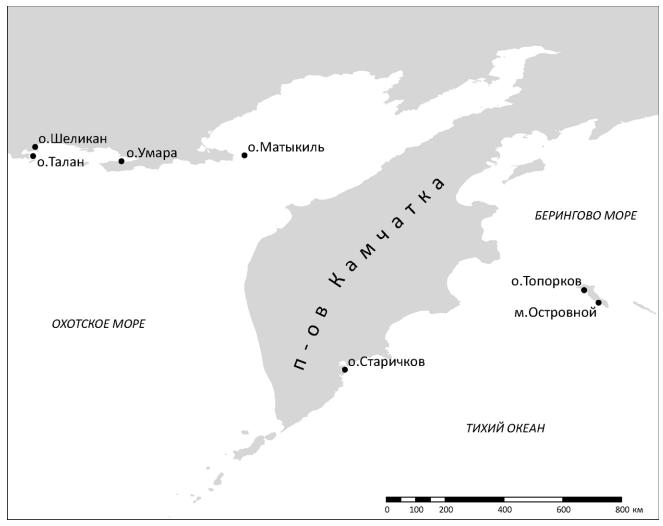
Полевые исследования с отбором проб воды, донных осадков, растений и почв проводились на семи островах Северной Пацифики с крупными

птичьими колониями, занимающими весь остров с (см. рисунок). Из семи исследованных островов в настоящей работе рассматриваются три — Матыкиль, Талан и Старичков, на которых имеются поверхностные водотоки.

О. Матыкиль – самый крупный из островов Ямского архипелага, расположенного в северной части Охотского моря (площадь острова 8.7 км<sup>2</sup>, максимальная высота 697 м). Литогенная основа представлена гранитными интрузиями, а также юрскими песчаниками и глинистыми сланцами. В ландшафтном отношении о. Матыкиль относится к материковых низкогорных островов с тундрово-стланиково-луговой растительностью на сухоторфяных почвах. На острове сформирована довольно густая сеть водотоков, действующих в летний период, с расходом воды 0.2-0.3 л/с. Остров входит в состав Магаданского заповедника, уникальность островной природы связана с крупнейшим в Северной Пацифике скоплением морских колониальных птиц, численность которых оценивается в 7-11.4 млн. особей [16].

О. Талан расположен в Тауйской губе Охотского моря, его площадь 1.6 км<sup>2</sup>, максимальная высота 219.5 м. Островной массив представляет интрузию кварцевых гранодиоритов позднемелового возраста, с северной стороны к которому причленена морская терраса высотой 3-5 м над уровнем моря, на которой есть небольшое термокарстовое озеро. В растительном покрове фон образуют заросли кедрового стланика, вейниковые луга и кустарничковые тундры на сухоторфяных почвах и подбурах. Количество осадков и площадь острова сформироваться сети позволяют временных водотоков с расходом воды 0.1-0.2 л/с. Ручьи большей частью имеют подповерхностный сток под долинообразных завалами глыб в днищах понижений, иногда выходят на поверхность. О. Талан является памятником природы федерального значения, его заселяет колония морских птиц, численность которых в конце 1980-х оценивалась в 1-1.5 млн. особой, в настоящее время сократилась до 600-700 тыс. особей [17].

О. Старичков расположен в Авачинском заливе Тихого океана, площадь острова 0.4 км<sup>2</sup>, максимальная высота 147.5 м. Остров сложен вулканогенно-осадочными породами — андезитами, базальтами, туфами, туфопесчаниками. В растительном покрове фон образуют разнотравнозлаковые и крупнотравные луга и заросли



Географическое положение изученных орнитогенных островных экосистем.

ольхового стланика, формирующиеся на вулканических охристых почвах. Вследствие небольшой площади на острове нет постоянных водотоков, однако в летний период функционируют несколько ручьев с расходом воды 0.1 л/с. О. Старичков имеет статус памятника природы регионального значения, на нем существует птичий базар, упоминаемый еще Г. Стеллером, современная численность птиц оценивается от 50 тыс. [18] до 180 тыс. особей [19].

По особенностям географического положения и специфике ландшафтной структуры анализируемые острова делятся на две группы. Острова Матыкиль и Талан находятся в одном из окраинных морей, сложены кислыми породами, в растительном покрове преобладают монодоминантные вейниковые луга, заменившие на большей

части площади исходные кустарничковые тундры и сообщества кедрового стланика. О. Старичков относится непосредственно к Тихому океану, сложен преимущественно вулканогенными основными породами, в растительном покрове наряду с вейниковыми лугами большую роль играют крупнотравные луга, близкие к камчатскому крупнотравью, а также заросли ольхового стланика. Общим же для всех островов является то, что морские колониальные птицы заселяют почти всю островную площадь, но при этом степень влияния меньше в верхнем ярусе островов и увеличивается по мере приближения к морю.

Гидрохимическое опробование включало отбор вод в ручьях, родниках и небольших озерах на участках с различной интенсивностью орнитогенного пресса, а также талых вод снежников в

привершинных частях островов, где влияние птиц минимально. Талые воды были использованы как фоновые для выявления изменений гидрохимических параметров в орнитогенных экосистемах. Определение рН, минерализации, ионного состава, содержание общего углерода и фосфора в ручьях о. Матыкиль было проведено в Аналитическом центре качества воды ЗАО «Роса» (г. Москва), о. Талан – в Аналитической лаборатории ВННИ-1 (г. Магадан, дополнительно также определено содержание нитрат- и нитрит-ионов), о. Старичков -Аналитической лаборатории КамчатНИРО (г. Петропавловск-Камчатский, дополнительно определены разные формы нахождения азота и кремния). Кроме вод ручьев, на о. Старичков были проанализированы также морские прилегающей акватории на разном удалении от острова. Анализы проводились по стандартным методикам [20]. Все перечисленные лаборатории имеют аттестаты государственной аккредитации.

Наряду с гидрохимическим анализом, проведено опробование растений, почв и донных осадков по катенам, типичным для бассейнов ручьев, а также экскрементов птиц. Данные о зольности растений и органогенных горизонтов почв получены в Аналитической лаборатории кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ. Для характеристики содержания N, C, S и H в почвах, донных осадках и экскрементах птиц использованы результаты элементного анализа по Дюма (DUMAS) на Elementar Vario ELIII, проведенного в аналитической лаборатории кафедры географии почв и геохимии ландшафтов географического факультета МГУ. Микроэлементный состав зол растений, торфов и донных осадков определен методом приближенного количественного спектрального анализа в Аналитическом центре Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ИМГРЭ.

## **Химический состав поверхностных вод** и факторы его формирования на островах

Химический состав речных вод на островах Охотского моря и Авачинского залива представлен в табл. 1, в которую дополнительно внесены рассчитанные В.В. Добровольским [7] для речных вод среднестатистические содержания ионов и растворимых форм биогенных элементов, а также данные по рекам в районе Магадана из Гидрологических ежегодников [21] и р. Большой Вилюй на Камчатке

[22]. Их сравнение показывает, что поверхностные воды островов значительно отличаются от вод рек восточных побережий Охотского моря и Камчатки минерализации, соотношению ионов концентрации биогенных элементов. Общим свойством островных ландшафтов является высокая пространственная вариабельность гидрохимических параметров, что свидетельствует об изменении соотношения и интенсивности факторов и процессов, формирующих состав вод. К их числу относятся: аэральное поступление вещества с атмосферными осадками, орнитогенный привнос продуктов метаболизма птиц, выщелачивание из почв, а также импульверизация морских солей.

На островах Охотского моря (Матыкиль и Талан) минимальные значения большинства гидрохимических параметров зафиксированы в автономных природных территориальных комплексах (ПТК) привершинных плато, развивающихся в субаэральных условиях. Основным источником питания в верховьях ручьев являются талые ультрапресные снеговые воды, отличающиеся слабокислой реакцией и высокой долей в ионном составе талассофильных элементов (Cl, Na). Несмотря на незначительное влияние птиц, гнездящихся в курумах, содержание некоторых биогенных элементов (P, N) в водах ручьев выше, чем у рек Охотского побережья, где отсутствуют колонии морских птиц.

Интенсивность орнитогенного фактора резко увеличивается в среднем и нижнем течениях ручьев, пересекающих склоны с высокой плотностью гнездования и разнообразием птичьего населения. Вовлечение химических элементов в водную миграцию происходит при выщелачивании из птичьего помета и почв, обогащенных экскре-И другими продуктами жизнедементами ятельности птиц (погадки, скорлупа яиц и др.), и сопровождается изменением состава поверхностных вод. Их трансформация прослеживается в нескольких направлениях.

### 1. Изменение обстановки водной миграции элементов

Рост концентрации  $C_{\text{орг}}$ , разрушение входящих в состав экскрементов солей мочевой кислоты и образование щавелевой кислоты способствуют снижению pH (до 3.4) и формированию кислой среды не только в водах ручьев, но и в грунтовых водах, выходящих на поверхность в родниках

Таблица 1. Ионный состав и содержание биогенных элементов в поверхностных и грунтовых водах орнитогенных экосистем

Местонахождение	ļ	C <sub>onf</sub> ,	Сумма					Содержание ионов, мг/л	э ионов, мг/	Е			
водотоков	Hd	мг/л	ионов, мг/л	$Ca^{2+}$	${ m Mg}^{2+}$	$\mathrm{Na}^{\scriptscriptstyle +}$	$\overset{_{+}}{\mathbf{K}}$	$HCO_{\overline{3}}$	$\mathrm{SO}_4^{2-}$	CI_	$NO_3^-$	Ь	Si
Среднее для речных вод [7]	1	6.9	100.2	13	3.3	4.5	1.5	58.5	12.0	6.4	1.0	0.02	5.7
Реки Охотского побережья в районе Магадана [21]	6.8–7.4	1	37.9–53.9	4.5–5.8	0.4–1.6	6.2–8.2ª	1	19.9–25.6	2.9–4.2	4.0-8.5	0.01-0.03	0-0.025	5.6–5.7
Ручьи из снежников о. Матыкиль и о. Талан	4.3–5.9	2.2–4.6	35.0-45.1	2.7	1.3	5.7–8.2	1.0	18	2.8–2.9	11.1–11.3	4.0	0.07-0.4	I
Ручьи, родники и озера о. Матыкиль и о. Талан	3.4–5.8	3.4- 12.4	80.0–298.4	18.0–70.0	4.4–22.0	7.1–31.0	1.5–13.0	6–14.0	2.5-47.1	22.3–94.3	1.5–50.5	0.2–3.2	1
р. Большой Вилюй на Камчатке [22]	ı	T	73.97	7.4	2.1	10.9	0.61	26.8	9.16	17.0	I	I	5.2
Ручьи 0. Старичков	6.7–6.9	I	352.2–505.7	9.6–28.4	6.4–22.9		86.8–94.2 2.02–4.84	86.2–95.0 17.5–30.4	17.5–30.4	97.9–98.8	38.3–138.5	0.2-0.5	10.0–11.3

 $<sup>^{</sup>a}$  По данным Гидрологических ежегодников [21], содержание катионов щелочных элементов приводится в сумме (Na $^{+}$  + K $^{+}$ ).

Таблица 2. Содержание биогенных элементов в экскрементах птиц, почво-грунтах и донных осадках изученных островов

N C		2.1	4.9	7.6
ve.	S	76.0	86.0	0.32
одержание элементов, %	C	26.34	43.64	8.56
0	Z	12.22	8.88	1.13
Образцы		Экскременты птиц	Почвогрунты под курумами с гнездовьями чистиковых	Донные осадки ручьев

нижних частей склонов. Увеличение их агрессивности стимулирует процессы кислого выщелачивания в почвах. Это подтверждается данными о формировании на о. Талан кислых (рН 3.7–4.7) сухоторфяных мерзлотных почв на склонах с очень высокой плотностью гнездования птиц различных видов чистиковых [23]. Такая тенденция может быть ослаблена при вымывании Са из погадков и скорлупы яиц, что сопровождается сохранением слабокислой среды.

### 2. Увеличение минерализации и содержания биогенных элементов

С учетом состава экскрементов птиц, обогащенных органическими соединениями и солями мочевой и минеральных кислот (фосфорнокислые соли, мочевокислый и щавелевокислый аммоний и др.), их можно рассматривать как важный поставщик химических элементов при формировании водных потоков. Предпосылки для роста в водах ручьев и родников минерализации и содержания большинства ионов связаны с выщелачиванием из обогащенных экскрементами почв сульфатов, хлоридов, легкорастворимых соединений фосфора, нитратов и других химических соединений. Выявленная тенденция является универсальной для всех островов с колониями морских птиц, причем латеральная миграция биогенных элементов осуществляется не только с поверхностным, но и с грунтовым стоком.

Сопоставление по аналитических данных экскрементам птиц с другими природными компонентами показывает, что по уменьшению содержания элементы образуют следующий ряд: С > N > S (табл. 2), хотя соотношение между ними не остается постоянным. В почвогрунтах, мирующихся под курумами, в которых гнездятся конюги, накопление углерода обусловлено не только его поступлением с метаболитами птиц, но и аккумуляцией в процессе детритогенеза, что увеличивает его концентрацию по сравнению с экскрементами в 1.6 раза. При высоком, в целом, уровне концентрации N в почвогрунтах орнитогенных ландшафтов в процессе выщелачивания его содержание по сравнению с экскрементами снижается. Это меняет соотношение С/N, которое в экскрементах птиц составляет 2.1, а в почвогрунтах увеличивается до 4.9, свидетельствуя об активном вовлечении N в миграционные процессы. Наименьшее содержание этих элементов зафиксировано в донных осадках, так как основная часть их выносится с водным стоком.

Для островов Северного Охотоморья близких значениях гидрохимических параметров ручьев, питающихся талыми водами, на о. Талан увеличение минерализации (до 79-88 мг/л) и содержания основных ионов выражено менее контрастно, чем на о. Матыкиль. Это может быть связано, очевидно, как с меньшей численностью птиц, так и с тем, что значительная часть ингредиентов мигрирует с грунтовыми водами. Именно в роднике о. Талан обнаружены воды средней минерализации (223 мг/л) с повышенным содержанием  $C_{opr}$ , нитратов (до 50.5 мг/л), сульфатов и ионов калия. По соотношению ионов среди поверхностных водотоков в нижних звеньях катен выделяются только термокарстовые озера низких морских террас, где птицы не гнездятся, но в формировании вод, наряду с поступлением элементов из вышерасположенных ПТК и при разбрызгивании метаболитов птиц, увеличивается импульверизации морских солей. подтверждается увеличением содержания талассофильных элементов (Cl, Na). Параллельно с этим надо отметить, что по сравнению с ручьями и родниками (рН 3.5-3.9) именно в озерных водах зафиксированы наибольшие для о. Талан значения рН (5.3). Такое снижение кислотности косвенно свидетельствует о возможности контакта озерных и морских вод, особенно во время приливов, и об увеличении числа факторов, оказывающих влияние на обстановку водной миграции. Трансформация солевого состава при контакте речных и морских вод и сезонность этих процессов показаны для озер в эстуарии р. Большой Вилюй на восточном берегу Камчатки в Авачинском заливе [22].

На о. Матыкиль при усилении орнитогенного влияния изменение гидрохимических параметров вниз по течению ручьев проявляется гораздо отчетливее, сопровождаясь ростом суммы ионов на порядок по сравнению с талыми водами. Однако степень преобразования параметров различается в разных частях острова, обнаруживая связь с размещением птичьего населения, ландшафтно-экологическими особенностями долин ручьев и условиями формирования латеральных потоков [9]. Наиболее резко меняется химический состав вод р. Птичий, в каньонообразном ущелье которого происходит непосредственный смыв экскрементов и продуктов их разрушения со скал, на которых

высока плотность гнездования птиц (кайры, чайки, моевки, ипатки и др.). Здесь зафиксировано увеличение суммы ионов до 280–298 мг/л, коричневатый цвет вод с повышенным содержанием Сорг (10-12 мг/л), фосфора (1.5–3.2 мг/л), калия (8–13 мг/л) и других ионов, снижение рН до 3.3-3.4. Наоборот, развитие слабокислой среды (рН 5.0-5.7) и некоторое снижение концентрации этих компонентов (минерализация 117–168 мг/л,  $C_{opr}$  7.1– 7.8  $M\Gamma/\Pi$ , P 0.17–0.18  $M\Gamma/\Pi$ , K 1.0–2.6  $M\Gamma/\Pi$ ) наблюдается в водах ручья с более широким днищем (р. Подъемный), где полоса вейниковых кочкарников на сухоторфяных почвах в днище не только ограничивает контакт натечных склоновых вод с флювиальным потоком, но и выступает в роли латерального биогеохимического барьера, задерживающего биогенные элементы. образом, влияние орнитогенного фактора на состав вод контролируется миграционной структурой ландшафтов и процессами биогенеза.

Воды ручьев о. Старичков, расположенного в Авачинском заливе в траверзе эстуария р. Большой Вилюй, отличаются от вод исследованных островов Охотоморья по щелочно-кислотным условиям (рН 6.7-6.9) и минерализации (350-505 мг/л), рост которой происходит за счет ионов Cl и Na, а также гидрокарбонат-иона. Возможно, для талассофильных ионов это частично связано с расположением острова непосредственно на пути тихоокеанских циклонов и обогащения ими атмосферных осадков с океана, а также с активной импульверизацией морских солей в береговой зоне островов; для гидрокарбонат-иона и снижения кислотности вод с влиянием основных пород, что отличает литогенную основу о. Старичков от о. Талан и Матыкиль, где преобладают гранитные интрузии. В то же время увеличению минерализации способствуют небольшие расходы воды в мелких ручьях, что может иметь решающее значение при постоянном поступлении в водные потоки подвижных форм элементов, выщела-чиваемых из птичьего помета и насыщенных им почв. Особенно это касается биогенных элементов. Так, по сравнению с водами р. Большой Вилюй в ручьях о. Старичков на порядок выше содержание К и сульфатов, а концентрация Мg и Si увеличивается в 2 и более раз. Именно на о. Старичков обнаружены максимальные содержания нитратов. Наиболее высокие значения всех гидрохимических параметров наблюдаются в ручьях юго-западной

части острова, где распола-гаются самые многочисленные колонии птиц.

Процесс регенерации биогенных элементов, заключающийся в переходе органических форм в неорганические, наиболее быстро происходит именно для веществ, выделяемых животными [24], в том числе помета и погадков птиц. О различных фазах этого процесса в окислительных условиях свидетельствует наличие в водах ручьев разнообразных неорганических форм азота — аммонийная (N—NH<sub>4</sub> 0.16—3.3 мг/л), нитритная (N—NO<sub>2</sub> 0.03—0.06 мг/л), нитратная (N—NO<sub>3</sub> 8.6—31.3 мг/л). Среди соединений азота наименьшим и близким в разных ручьях содержанием отличаются очень неустойчивые нитритные ионы.

### Интенсивность водной миграции элементов

Для оценки интенсивности водной миграции элементов в ландшафтах островов рассчитаны коэффициенты водной миграции  $(K_x)$ . Поскольку поступление элементов в воды контролируется комплексом факторов, в том числе биологическим круговоротом, орнитогенным привносом аэральными потоками, расчет  $K_{\rm x}$  проведен не по отношению к местным породам, а к кларку литосферы, что представляется методически более оправданным. Анализ рядов водной миграции (табл. 3) показал, что в орнитогенных ландшафтах к числу наиболее подвижных мигрантов относятся СІ и N, причем N даже опережает СІ. При резком усилении орнитогенного давления, например, на о. Матыкиль (р. Птичий) к этой группе присоединяется S, которая в большинстве водотоков является очень подвижным мигрантом. сравнению с материковыми ландшафтами восточных побережий Охотского моря и Камчатки, где водная миграция К и Р ограничивается включением в биологический круговорот, их поведение на островах отличается высокой контрастностью. Это проявляется в увеличении миграционной способности этих элементов и отражается на их положении в рядах водной миграции (переход Р в группу очень подвижных, К – легкоподвижных мигрантов).

Учитывая высокую вариабельность гидрохимических параметров представляет интерес выявление степени контрастности поведения элементов по интенсивности водной миграции. Расчет коэффициентов контрастности  $(K_c)$ , основанный на сопоставлении  $K_x$  конкретных

Мастамамамича разгамар	Ряды водной миграции (по $K_{ m x}$ )								
Местонахождение водотоков	1000n	100n	10n	n	0,n	0.0 <i>n</i>			
Среднее для речных вод [7]	_	Cl	S	Ca, Mg, Na	K, Si, Fe, P	_			
Реки в районе Магадана	_	Cl	S	Na, Ca, Mg, N	K, P, Si	Fe			
р. Большой Вилюй на востоке Камчатки	Cl	-	S	Na, Ca, Mg	K, Si	_			
Ручьи островов со скоплениями морских колониальных птиц	N, Cl	(S)	S, P	Na, Ca, Mg, (P), K	(K), Si	_			

**Таблица 3.** Интенсивность водной миграции элементов в поверхностных водах в летний период<sup>а</sup>

элементов в нижнем и верхнем течении ручьев, выявил общую закономерность для разных островов - наиболее контрастно меняется миграционная способность биогенных элементов (N, P, S, K), приобретающих подвижность при выщелачивании из экскрементов и почв, обогащенных метаболитами птиц ( $K_c$  от 2 до 8). Это относится не только к речным, но и к грунтовым водам, в которых мигрирует значительная часть элементов. Так, на о. Талан в грунтовых водах по сравнению с водами верховьях ручьев увеличивается содержание нитратов в 12, фосфатов в 5, калия в 6 раз [15]. Активное включение этих элементов в водные потоки свидетельствует о потере биогенов с поверхностным и грунтовым стоком, что создает предпосылки для обогащения ими морских вод, особенно в небольших бухтах.

По данным гидрохимической съемки и анализа распределения биогенных элементов в поверхностном слое вод в акватории о. Старичков [25], суммарное содержание неорганических форм азота  $(N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3)$  в полузамкнутых бухтах на западном и южном побережьях острова достигает 3.7-10.8 мкг-ат/л (0.05-0.15 мг/л), а неорганического фосфора 0.33-0.71 мкг-ат/л (0.01-0.02 мг/л). Такие концентрации находятся в пределах, приводимых ДЛЯ вод наиболее высокопродуктивных районов Тихого океана (соответственно от 2 до 30 мкг-ат/л для неорганического азота и 0.2-2.0 мкг-ат/л для фосфора) [26] и при удалении от острова снижаются, приближаясь к фоновым. Следует отметить, что именно юго-западные и южные районы острова отличаются повышенным содержанием биогенных элементов в водах ручьев, высокой плотностью гнездования птиц и стабильно высоким размещением их на воде прилегающей акватории [18]. Зона биогеохимического влияния вокруг о. Старичков, определенная ПО увеличению содержания биогенных элементов и концентрации птиц, имеет форму эллипса, ее площадь составляет около 20 км². Вокруг более крупных птичьих базаров численностью сотни тысяч птиц в Баренцевом море площадь зоны влияния может достигать 240 км<sup>2</sup> [10]. Важно отметить, что формируемые птицами зоны влияния не только гидрохимические, но и биогеохимические. Метаболиты птиц способствуют увеличению первичной продуктивности, продуктивность vвеличивают диатомовых перидиниевых водорослей, мелких жгутиковых и других групп организмов, составляющих основу питания зоопланктона. Вследствие этого, вблизи колоний отмечаются аномально высокие показатели некоторых видов зообентоса, рыб, в свою очередь являющихся объектами питания для морских птин.

В целом роль орнитогенных экосистем в глобальных круговоротах вещества и энергии может оказаться более значительной, чем это следует из их небольших размеров и ограниченного распространения. В частности, количество только минеральных соединений Р и N, попадающих в воду от морских птиц, по расчетам А.Н. Головкина составляет соответственно 3.9 и 19% от суммарного выноса этих веществ реками в Мировой океан [8]. Цепочки островов со скоплениями морских колониальных птиц также выступают как своеобразные диффузные латеральные биогеохимические барьерные зоны, задерживающие выход тяжелых металлов из миграционных циклов и поступление их в глубоководные осадки [6].

<sup>&</sup>lt;sup>а</sup> В скобках заключены элементы, меняющие положение в рядах водной миграции в ручьях разных островов.

### ВЫВОДЫ

- 1. С позиций экологической геохимии, изучение орнитогенных функционирования экосистем базируется на анализе миграционных процессов, среди которых важную роль играет биогенная миграция и водный сток. В его формировании на островах с колониями морских птиц принимает участие комплекс абиотических и биотических факторов, причем ведущим среди них выступает орнитогенный. Геохимический прессинг стороны птиц определяет изменение обстановки водной миграции, минерализацию поверхностных и грунтовых вод, ионный состав, щелочнокислотные условия.
- 2. Несмотря на общие закономерности формирования химического состава вод в условиях орнитогенного привноса вещества с океана и его последующего вовлечения в биогенную и водную миграцию, степень трансформации вод по сравнению с фоновыми на разных островах неодинакова. Причины этих различий связаны с географическим положением островов, их ландшафтной структурой, численностью птичьего населения.
- 3. При оценке влияния орнитогенного фактора на химизм поверхностных и грунтовых вод в качестве индикаторов целесообразно использование биогенных элементов (N, P, S, K), связанных с метаболитами птиц и продуктами их преобразования в островных экосистемах. Степень трансформации вод фиксируется по изменению щелочно-кислотной обстановки, контрастности поведения биогенных элементов и интенсивности их вовлечения в водные потоки.
- 4. Острова с колониями морских птиц можно рассматривать как ядра нуклеарных систем с высоким вещественно-энергетическим потенциалом, которые формируют вокруг себя обширные зоны способствуют биогеохимического влияния И биологической продуктивности **у**величению подводных биоценозов. В подобных экосистемах значительно ускоряется круговорот вещества и энергии относительно фоновых участков Мирового океана, связанный с изъятием большого количества рыбы беспозвоночных прилегающей концентрацией метаболитов акватории, гнездования, их трансформацией, местах выносом в океан.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. MacArthur R.H., Wilson E.O., *The Theory of Island Biogeography*, Princeton Univer. Press, 1967, 203 p.
- 2. Иванов, А.Н., Орнитогенные геосистемы малых островов Северной Пацифики, *Вестник Моск. Унив.*, *Сер. 5. География*, 2006, № 3, с. 58.
- 3. Татаринкова, И.П., Количественная характеристика экскреторной деятельности крупных чаек и влияние ее на растительность, *Роль животных в функционировании экосистем*, Москва: Наука, 1975, с. 107.
- 4. Бызова, Ю.Б., Уваров, А.В. Губина, В.Г., Влияние жизнедеятельности птиц на растительность островов, Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника, Москва: Наука, 1986, с. 17.
- 5. Морозов, Н.П., Химические элементы в гидробионтах и пищевых цепях, *Биогеохимия океана*, Москва: Наука, 1983, с. 127.
- 6. Авессаломова, И.А. Иванов А.Н., Тяжелые металлы на геохимических барьерах в орнитогенных геосистемах Северной Пацифики, Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде, Семей: 2010, т. 1, с. 86.
- 7. Добровольский, В.В., *Основы биогеохимии*, Москва: Высшая школа, 1998, с. 413.
- 8. Головкин, А.Н., Роль птиц в морских экосистемах, Итоги науки и техники, *Зоология позвоночных*, Москва: ВИНИТИ, 1982, с. 97.
- 9. Иванов А.Н. Авессаломова, И.А., Ландшафтногеохимические особенности орнитогенных геосистем Ямских островов (Охотское море), *Вестник Моск. Унив., Сер. 5. География*, 2008, № 2, с. 35.
- 10. Головкин, А.Н., Широколобов, В. Н. Гаркавая, Г.П., Особенности распределения биогенных элементов в районе птичьих базаров севера Новой Земли, Особенности биологической продуктивности вод вблизи птичьих базаров севера Новой Земли, Ленинград: Наука, 1972, с. 42.
- 11. Елпатьевский, П.В. Таргульян, В.О., Геохимические парадоксы коралловых островов Тихого океана, *Извест. АН СССР, Сер. Географ.*, 1985, № 4, с. 34.
- 12. Harding J.S., David J.H., Richard N.H., Winterbourn M.J., Incorporation of Marine-Derived Nutrients from Petrel Breeding Colonies into Stream Food Webs, *Freshwater Biology*, 2004, vol. 49, p. 576.
- 13. Otero Pérez X.L., Effects of Nesting Yellow-Legged Gulls (Larus cachinnans Pallas) on the Heavy Metal Content of Soils in the Cies Islands (Galicia, North-west Spain), *Marine Poll. Bull.*, 1998, vol. 36, no. 4, p. 267.
- 14. Иванов, А.Н., Авессаломова, И.А., Хрусталева, М.А., Биогеохимия орнитогенных геосистем Ямских

- островов (Охотское море),  $\Gamma$ еография и природные ресурсы, 2009, № 4, с. 100.
- 15. Авессаломова, И.А., Иванов, А.Н., Геохимические особенности функционирования орнитогенных ландшафтов острова Талан (Охотское море), Вестник Моск. Унив., Сер. 5, География, 2011, № 4, с. 78.
- 16. Кондратьев, А.Я., Зубакин, В.А., Харитонов, С.П., Тархов, С.В., Харитонова, И.А., Изучение птичьих базаров островов Матыкиль и Коконце (Ямские острова) и полуострова Пьягина, Бюлл. Моск. Общ. испыт. природы, Отд. биол., 1993, Т. 98, Вып. 5, с. 21.
- 17. Андреев, А.В., Голубова, Е.Ю., Зубакин, В.А., Харитонов, С.П., Численность морских птиц на колониях острова Талан: двадцатилетний тренд, *Вести. СВНЦ ДВО РАН*, 2010, № 2, с. 30.
- 18. Лобков, Е.Г., Фауна, население птиц и их роль в экосистеме острова Старичков, Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива, *Тр. Камчат. филиала ТИГ ДВО РАН*, Вып. 8, Петропавловско-Камчатский: Камчатпресс, 2009, с. 280.
- 19. Зеленская, Л.А., Морские птицы острова Старичков (Авачинский залив), *Биология и охрана птиц Камчатки*, Вып. 9, Москва: Изд. ЦОДП, 2010, с. 82.
- 20. Руководство по химическому анализу морских и

- пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана, Москва: Изд. ВНИРО, 2003, с. 202.
- Гидрологический ежегодник. Магаданская область, Магадан: Гидрометеоиздат, 1975, Т. 9, Вып. 7, с. 124.
- 22. Савенко, А.В., Горин, С.Л., Гидролого-гидрохимическая структура эстуария реки Большой Вилюй на восточном побережье Камчатки, Физические проблемы экологии (экологическая физика), 2011, № 17, с. 356.
- 23. Плещенко, С.В., Некоторые особенности почвообразования в местах массовых поселений морских колониальных птиц на острове Талан, Прибрежные экосистемы Северного Охотоморья: остров Талан, Магадан: ИБПС ДВО РАН, 1992, с. 109.
- 24. Никаноров, А.М., *Гидрохимия*, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989, с. 351.
- 25. Фазлуллин, С.М., Лебедько, М.В., Уколова, Т.К., Иванов, А.Н., Биогенные элементы в акватории о. Старичков (Авачинский залив, Камчатка), Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей, Петропавловск-Камчатский: Камчат-пресс, 2008, с. 276.
- 26. Тихий океан, Москва: Мысль, 1982, с. 316.

# Water Migration of Elements in Ornithogenic Ecosystems of the North Pacific Islands

### A. N. Ivanov and I. A. Avessalomova

Moscow State University, Leninskie Gory, Moscow, GSP-1, 119991Russia e-mail: a.n.ivanov@mail.ru, landrus@ geogr.msu.ru

**Abstract**—The chemical composition of surface water features and water migration of elements in the islands with large accumulations of marine colonial birds are analyzed. It is established that ornithogenic factor is leading in the formation of surface water in these ecosystems. Informative hydrochemical parameters, reflecting the impact of birds on the intensity of water migration, are the nutrients (N, P, S, K). It is shown that formed large areas of the biogeochemical impact around the islands with seabird colonies.

Keywords: island, sea birds, impact, surface water, land-sea, migration of elements.