

32. Borovik-Romanova T.F., Farafonov M.M., Gribovskaya I.F. Spektral'noe opre-delenie mikroelementov v rasteniyah i pochvah. – M.: Nauka, 1973. – 111 s.

LANDSCAPE AND GEOCHEMICAL SURVEY OF IZ-511
TO ENSURE LAUNCHING SPACE ROCKETS FROM SRC «AMUR»
WITH VOSTOCHNY SPACEPORT

A.V. Saltykov, S.N. Balykin, A.V. Puzanov

Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul, E-mail: saltykovav@yandex.ru

The article presents the results of a preliminary landscape-geochemical survey of the area of the fall of the first stage of space rockets from the Amur rocket complex launched from the Vostochny cosmodrome. The main components of the landscape that can be negatively affected by rocket and space activities in the territory under consideration were used as objects of research: surface water, soil and vegetation. They determined the main properties and composition of potential pollutants: soil cover-pH, cation exchange capacity, humus content, ionic, granulometric and elemental composition; vegetation cover-elemental composition; surface water-pH, temperature, content of petroleum products, ionic and elemental composition. When analyzing the data obtained, it was found that all the studied potential pollutants in the considered components of the landscape are at the level of maximum permissible concentrations.

Keywords: Khabarovsk Krai, Ezop Range, Dusse-Alin, Bureya Massif, Bureya River, surface water, plants, soils.

Received December 17, 2019

УДК 502.7 + 577.4

ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ, СХОДНЫХ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

А.А. Цхай^{1,2}

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: tskhai@iwep.ru

² Алтайский государственный университет, Барнаул

Объектом исследования являются экосистемы водохранилищ. Проведена оценка изменчивости и накопления фосфора в экосистемах этих водных объектов, сходных по гидрологическим характеристикам. Сопоставление данных по содержанию фосфора в Новосибирском водохранилище (которых недостаточно) с данными хорошо изученных волжских водохранилищ позволяет дополнительным образом верифицировать результаты, полученные при имитационном моделировании в случае неполной и неточной информации.

Ключевые слова: водохранилище, математическая модель, гидрология, загрязняющие вещества, трансформация, биогеохимический цикл.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15609

Дата поступления 11.02.2020

Гидрологические особенности относятся к определяющим факторам формирования качества воды в водохранилищах. В работе [1] было изучено взаимодействие гидробионтов в условиях изменения водного режима в более чем тысяче водных объектов США. Был получен следующий результат: основным фактором изменения качества вод при возрастании проточности становятся абиотические компоненты экосистемы.

Фосфор наиболее часто является химическим элементом, лимитирующим развитие сообществ гидробионтов в речных водохранилищах. В этой связи представляется интересным сравнить динамику фосфорных соединений в экосистемах этих водных объектах, сходных по гидрологическим характеристикам. Такое исследование может выявить новые аспекты при анализе конкретных водных объектов, продвигаться в поиске аналогов при прогнозировании экологических последствий создания новых водохранилищ.

Материалы и методы

В работе [2] сформулирована классификация водохранилищ, в соответ-

ствии с которой выделяются три группы: долинные, котловинные и смешанные. В связи с различиями в рельефе их делят на равнинные, предгорные, горные и высокогорные. В исследовании далее будут рассмотрены Новосибирское и волжские водохранилища (Горьковское, Волгоградское, Ивановское и Угличское). Основным аргументом их выбора в контексте исследования является относительно высокий внешний водообмен, который проявляется при анализе гидрологических характеристик Новосибирского водохранилища. Кроме того, все названные водоемы являются равнинными, речными и долинными. Близки и морфометрические особенности выбранных для сравнения водных объектов: ассиметричные вдоль направления течения, вытянутые, с наибольшей глубиной в нижней части.

Все пять рассматриваемых объектов осуществляют сезонное регулирование стока. По режиму эксплуатации Новосибирское водохранилище - ближе к Горьковскому и Волгоградскому – с неглубоким регулированием стока. Осо-

бенности эксплуатации Иваньковского водохранилища во многом определяются его ролью охладителя Конаковской ГРЭС, через тепловые агрегаты и установки которой проходит 0,7 км³ воды, или 87 % полезного объема водохранилища.

Структура водных масс – гетерогенная, состоит из водных масс озерного типа и речных фаз стока. В течение года у водохранилищ выделяют три главных периода: зимний, весенне-летний прогрев и осеннее охлаждение. Температура воды в разных акваториях водоемов в рассматриваемый момент времени может существенно отличаться. Средняя по всему объему в течение года меняется в пределах от 0°C до 27°C. Термическая стратификация – динамически нерегулярная и не возникает в верхних частях водоемов.

Ряд гидрологических характеристик пяти вышеназванных водохранилищ, подтверждающих приведенные утверждения о сходстве, сведены в таблице 1. При этом надо отдавать отчет, что полные аналоги в природе, как правило, найти невозможно. Рассматриваемые водохранилища существенно отличаются и по НПУ, и УМО, и по среднегодовому стоку. Кроме того, климатические и геохимические условия, в которых существуют волжские водохранилища, отличаются от таковых для Новосибирского. Вместе с тем сопоставление условий трансформации соединений фосфора в них может привести к содержательным выводам.

Для получения недостающих значений при сравнении показателей в данном исследовании была выполнена модельная оценка средних концентраций и коэффициента накопления форм фосфора в Новосибирском водохранилище в 1981 г. Ее следует считать косвенной в связи с отсутствием данных наблюдений по общему фосфору и его органическим формам. Недостающие средние величины берутся из результатов моделирования циклов трансформации био-

генных веществ в условиях Новосибирского водохранилища 1981 г. в нульмерном приближении [3-4]. Полученные таким образом условные характеристики сравниваются с результатами расчетов и наблюдений для волжских водохранилищ.

Годовая изменчивость восьми переменных C_i , (рис. 1) моделируется для процессов биогеохимической трансформации биогенных соединений, а также кислородного режима. Эти переменные относятся к водной толще, соответственно: F – биомасса фитопланктона; N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃ – минеральные формы азота; D – взвешенные вещества; C – растворенные органические вещества (ОВ); I – минеральный P; O₂ – кислород. Еще шесть переменных добавляется в расчетах для взаимодействия водной толщи с донными отложениями. Это растворенные органические вещества (C_B), участвующие в обменных процессах; интерстициальные формы фосфора (P_B), азота (N_B) и сорбированные – на твердой фазе (P_S и N_S). Пассивные ОВ в составе донных отложений (ДО) обозначаются переменной C_N.

Уравнения модели «Биоген» при описании трансформации соединений выглядят следующим образом:

$$\frac{d(C_i \cdot W)}{dt} = W \cdot R_i + Q_+ \cdot C_{+i} - Q_- \cdot C_i + J_i \cdot \Omega + G_i \cdot L, \quad (1)$$

где $i = F, NH_4, NO_2, NO_3, D, C, I, O_2$; W – объем водохранилища; t – время; R_i – скорость биохимической трансформации соответствующего соединения C_i ; Q^P и C_i^P – расход реки и концентрации компонентов в ней; Q_- – расход попуска из водохранилища; J_i – массовый поток на межфазной поверхности; Ω – площадь зеркала водохранилища; G_i – боковая нагрузка, характеризующая поступления с берегов; L – длина береговой линии водохранилища. В исследовании использованы полный вид членов R_i и значения внутренних параметров модели «Биоген», приведенные в работе [4].

Комплексное изучение Новосибирского водохранилища в 1981-1982 гг. [5] позволило получить набор данных, необходимый для предварительного модельного описания процессов в экосистеме водохранилища и калибровки модели [5]. Эти данные характеризуют водный и термический режимы, морфометрию и актинометрию водохранилища.

Как известно, фосфор – важнейший биогенный элемент, требуемый для развития всех видов гидробионтов. Его присутствие, как уже упоминалось, часто лимитирует развитие водных микроорганизмов и определяет скорости биохимической трансформации органических веществ. В водохранилищах до-

линного типа с удлинённой, вытянутой формой в плане, как правило, лимитирующим фактором служит содержание фосфора [6].

Для получения результатов данного исследования использовалась модельная оценка составляющих баланса соединений фосфора, рассчитанная в [3-4]. Результаты моделирования, как уже было отмечено, служат косвенной оценкой в отсутствии надежных данных наблюдений, вместе с тем ее использование порой позволяет продвинуться в понимании механизмов процессов, наметить направление будущих уточняющих исследований.

Таблица 1

Гидрологические характеристики рассматриваемых водохранилищ*

	В	Г	И	У	Н
Координаты плотины: широта/долгота	48°/44°	59°/43°	54°/38°	57°/38°	54°/82°
Расположение на реке	Волга	Волга	Волга	Волга	Обь
Год создания	1960	1957	1937	1940	1959
Нормальный подпорный уровень (НПУ)/уровень мертвого объема, м	15/12	84/80	124/11	113/10	113,5/1
Площадь зеркала при НПУ, км ²	3117	1591	327	249	1070
Объем при НПУ, км ³	31,45	8,8	1,12	1,24	8,8
Полезный объем, км ³	8,25	2,8	0,81	0,81	4,4
Длина/средняя ширина, км	540/5,8	430/3,5	134/2,2	146/2,2	200/10
Максимальная глубина, м	41	22	19	22	25
Средняя глубина, м	10	5,5	3,4	5	9
Среднегодовой сток, км ³	260	49,5	9,23	10,96	52
Коэффициент водообмена, среднемноголетний, год ⁻¹	7,57	6,1	10,6	9,7	6,67

Примечание: * – использованы данные [7-12]; В – Волгоградское; Г – Горьковское; И – Ивановское; У – Угличское; Н – Новосибирское.

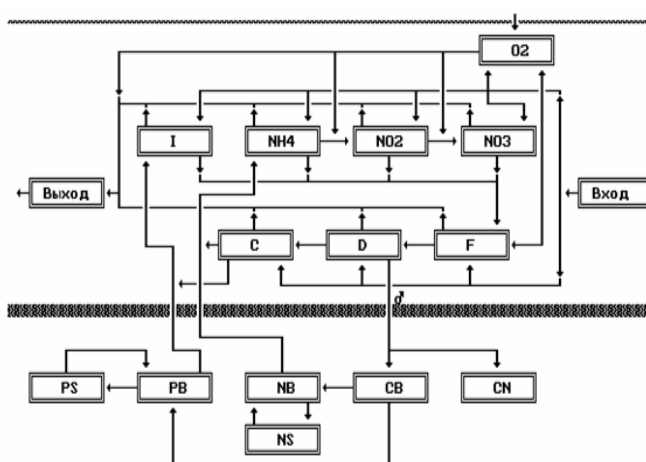


Рис. 1. Схема биохимической трансформации компонентов водной экосистемы, описываемая моделью «Биоген»

Результаты и их обсуждение

Известно, что в водоемах происходит накопление фосфора, связанное с тем, что общая величина внешней фосфорной нагрузки, как правило, всегда больше выноса фосфорных соединений из рассматриваемого водного объекта. Это объясняется потреблением фосфатов гидробионтами, а также оседанием взвеси на дно, где происходит ее разложение с последующим поступлением в водную толщу вновь.

Коэффициент накопления (седиментации, в первоисточнике) общего фосфора в водохранилище K_c определяется как [6]

$$K_c = K_e K_p / (1 - K_p),$$

$$K_p = (P^+ - P^-) / P^+$$

где K_e – коэффициент внешнего водообмена, P^+ и P^- – приток общего фосфора в водохранилище и его сток с попуском в нижний бьеф.

Обобщенные данные по минеральному и общему фосфору в рассмотренных водохранилищах приведены в таблице 2. Использованы расчетные данные по волжским [6] и Новосибирскому водохранилищам [3-4]; результаты наблюдений из [5-6, 10, 13]. Поскольку наблюдения осуществлялись нерегулярно, приходится допускать, что рассчитанные по данным специальных гидрохимических исследований составляющие баланса фосфора в той или иной мере отражают среднесезонные условия. Это допущение, несомненно, делает подобные расчеты весьма

приближенными. Однако они, в основном, укладываются в типичные для водохранилищ интервалы. В работе [3] оценена внешняя фосфорная нагрузка L_p (тР/год) на Новосибирское водохранилище в 1981 г., что позволяет сравнить полученную величину с соответствующими характеристиками четырех волжских водохранилищ (табл. 2).

Новосибирское водохранилище в 1981 г. было олиго-мезотрофным водоемом [5], а потому скорости биогеохимического цикла трансформации соединений фосфора были более умеренными по сравнению с характерными показателями эвтрофирования волжских водохранилищ, которые на период наблюдений относились к мезотрофным и эвтрофным водоемам. Это обуславливает относительно низкие величины накопления и концентрации общего фосфора в Новосибирском водохранилище.

Расчетная средняя концентрация фосфатов в указанном водоеме, в целом, укладывается в диапазоны данных остальных рассматриваемых объектов и более чем другие приведенные в таблице значения соответствует результатам наблюдений на сибирском водоеме [5]. Вместе с тем достаточно интересным выглядит вопрос о причине высокого среднегодового содержания фосфатов в Новосибирском водохранилище по сравнению с мезотрофными Горьковским и Волгоградским, а также близкими по этому показателю – к эвтрофным Ивановским и Угличским.

Таблица 2

Характеристики фосфора в пяти водохранилищах*

Водохранилище	L_p , тР/год	K_c , год ⁻¹	Фосфор, мгР/м ³			
			минеральный		общий (среднее)	
			расчет	наблюдения	расчет	наблюдения [6]
Волгоградское	19231	1,9	-	(0-68)/14 [13]	76	86
Горьковское	4290	0,2	-	(0-75)/12 [10]	88	91
Иваньковское	1072	5,7	-	(29-87)/49 [10]	89	101
Угличское	1582	2,4	-	(0-85)/46 [10]	113	100
Новосибирское	3720	1,6	32	(0-290)/44 [5]	51	-

Примечание: в числителе – диапазоны изменений, в знаменателе – среднее; « - » – отсутствие данных.

Среднегодовой водный сток Волгоградского водохранилища, судя по данным таблице 1, превышает этот показатель выбранных для сопоставления других четырех водных объектов от 5 до 25 раз. Это, а также влияние других важных факторов, таких как площадь водосборного бассейна и интенсивность антропогенной деятельности на его акватории, приводят к тому, что общая фосфорная нагрузка на Волгоградское водохранилище в разы больше, чем аналогичные показатели для других рассмотренных водных объектов. Однако Новосибирское водохранилище более близко к Волгоградскому, чем к остальным водохранилищам, по показателю накопления фосфора. Эта особенность также заслуживает специального рассмотрения в будущем.

Представляется, что вышесказанное дает основание использовать результаты сопоставления водохранилищ, сходных по гидрологическим характеристикам, при анализе формирования качества вод, тем более в случаях неполной и недостаточной информации, что вынуждает пользоваться косвенными оценками. Кроме того, возникают открытые вопросы для новых исследований, изучение которых может привести к лучшему пониманию процессов и их механизмов в экосистемах водохранилищ.

Для рассмотренной задачи изучение особенностей экосистем волжских водохранилищ имеет большую историю, наверняка опыт их исследований содержит качественные и количественные эффекты, которые еще предстоит оценить для случая Новосибирского водохранилища. Особенную важность упомянутым аспектам развития исследова-

ний придает достаточно распространенная практика оценки экологических последствий зарегулирования стока сибирских и дальневосточных водохранилищ, при проведении которой принципиально важным становится выбор аналога будущему объекту по характеру экосистемных процессов.

Выводы

Сопоставление характеристик изменчивости фосфорных соединений для Новосибирского и волжских водохранилищ, сходных по ряду гидрологических показателей, произведено на основе балансовых соотношений.

При отсутствии результатов наблюдений может быть использовано имитационное моделирование для косвенных оценок недостающей информации. Сопоставление содержания фосфора в Новосибирском водохранилище с данными хорошо изученных волжских водохранилищ позволяет дополнительным образом верифицировать результаты, полученные при имитационном моделировании в случае неполной и неточной информации.

Показано, что анализ опыта исследования указанных экосистем может быть полезен при постановке задач для Новосибирского водохранилища.

Особенную важность отмеченным выше аспектам развития методологии придает достаточно актуальная практика оценки экологических последствий зарегулирования стока сибирских и дальневосточных водохранилищ, при проведении которой принципиально важным становится выбор аналога будущему объекту по характеру формирования в нем качества воды.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН» при частичной финансовой поддержке РФФИ и Алтайского края (проект № 18-41-220002\19).

Список литературы

1. Soballe D.M., Threlkeld S.T. Advection, phytoplankton biomass, and nutrient transformations in a rapidly flushed impoundments // Arch. Hydrobiol. – 1985. – Vol. 105. – P. 187-203.

2. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. – М.: МГУ, 1991. – 176 с.
3. Цхай А.А., Агейков В.Ю. Математическое моделирование процессов трансформации соединений азота и фосфора и изменчивости кислородного режима в водохранилищах // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – № 6. – С. 718-728.
4. Цхай А.А., Агейков В.Ю. Моделирование изменения уровня эвтрофирования водохранилища на основе воспроизведения биогеохимических циклов // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47. – № 1. – С. 105-113.
5. Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – 134 с.
6. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. – М.: ГЕОС, 1998. – 252 с.
7. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.: ГЕОС, 1998. – 277 с.
8. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 223 с.
9. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 391 с.
10. Экологические проблемы Верхней Волги: коллективная монография. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. – 427 с.
11. Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Кондакова О.В. Влияние Новосибирского водохранилища на формирование гидролого-гидрохимического режима Верхней Оби на зарегулированном участке // Вода и экология: проблемы и решения. – 2020. – № 1(81). – С. 51-62.
12. Вода России: научно-популярная энциклопедия. – URL: <https://water-rf.ru/>.
13. Шашуловский В.А., Мосияш С.С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 250 с.

References

1. 1. Soballe D.M., Threlkeld S.T. Advection, phytoplankton biomass, and nutrient transformations in a rapidly flushed impoundments // Arch. Hydrobiol. – 1985. – Vol. 105. – P. 187-203.
2. Edelshteyn K.K. Vodnye massy dolinnykh vodokhranilishch. – M.: MGU, 1991. – 176 s.
3. Tskhay A.A., Ageykov V.Yu. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov transformatsii soyedineniy azota i fosfora i izmenchivosti kislorodnogo rezhima v vodokhranilishchakh // Vodnye resursy. – 1997. – T. 24. – № 6. – S. 718-728.
4. Tskhay A.A., Ageykov V.Yu. Modelirovaniye izmeneniya urovnya evtrofirovaniya vodokhranilishcha na osnove vosproizvedeniya biogeokhimicheskikh tsiklov // Vodnye resursy. – 2020. – T. 47. – № 1. – S. 105-113.
5. Kompleksnyye issledovaniya Novosibirskogo vodokhranilishcha. – M.: Gidrometeoizdat, 1985. – 134 s.
6. Datsenko Yu.S. Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskiye aspekty. – M.: GEOS, 1998. – 252 s.
7. Edelshteyn K.K. Vodokhranilishcha Rossii: ekologicheskiye problemy, puti ikh resheniya. – M.: GEOS, 1998. – 277 s.
8. Vuglinsky V.S. Vodnye resursy i vodny balans krupnykh vodokhranilishch SSSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 223 s.
9. Mnogoletnyaya dinamika vodno-ekologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. – 391 s.
10. Ekologicheskiye problemy Verkhney Volgi: kollektivnaya monografiya. – Yaroslavl: Izd-vo YaGTU, 2001. – 427 s.

11. Savkin V.M., Dvurechenskaya S.Ya., Kondakova O.V. Vliyaniye Novosibirskogo vodokhranilishcha na formirovaniye gidrologo-gidrokhimicheskogo rezhima Verkhney Obi na zaregulirovannom uchastke // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. – 2020. – № 1(81). – S. 51-62.

12. Voda Rossii: nauchno-populyarnaya entsiklopediya. – URL: <https://water-rf.ru/>.

13. Shashulovsky V.A., Mosiyash S.S. Formirovaniye biologicheskikh resursov Volgogradskogo vodokhranilishcha v khode suksessii ego ekosistemy. – M.: T-vo nauchnykh izdany KMK, 2010. – 250 s.

ABOUT VARIABILITY OF PHOSPHORUS COMPOUNDS IN RESERVOIRS WITH SIMILAR HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS

A.A. Tskhai

¹*Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: tskhai@iwep.ru*

²*Altai State University, Barnaul*

The object of research is reservoir ecosystems. The aim of this work is expanding of the set of methods for studying the process of water quality formation. The results of comparison of the calculated characteristics for phosphorous compounds with the corresponding data of the Volga reservoirs, which are similar in a number of hydrological indicators to the Novosibirsk reservoir, are based on balance ratios. The research performed can be useful for applying of the method of comparison with analogs when setting tasks in the case of incomplete and inaccurate information, which forces the use of indirect estimates in the analysis.

Keywords: reservoir, mathematical model, hydrology, pollutants, transformation, biogeochemical cycle.

Received February 11, 2020