

## Техногенные и природные факторы, контролирующие состав донных отложений оз. Васьковское, восточный Сихотэ-Алинь, Приморский край

ШУЛЬКИН В.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский институт географии  
ДВО РАН, Владивосток  
Адрес для переписки: shulkin@tigdvo.ru

**Аннотация.** Изучено вертикальное распределение Pb, Cd, Zn, Hg, Cu, Ni, Fe, Mn,  $C_{\text{орг}}$ , а также скорость осадконакопления, определенная по снижению  $^{210}\text{Pb}$ , в верхнем 50-сантиметровом слое донных отложений оз. Васьковского, расположенного на восточном макросклоне хр. Сихотэ-Алинь и находящегося под влиянием аэральных выбросов горно-рудных предприятий долины р. Рудная. Установлена скорость осадконакопления в центральной части озера  $2.7 \pm 0.26$  мм/год, что позволяет оценить изменение химического состава донных отложений за последние 160–180 лет. Верхний 8-сантиметровый слой, накопленный после 1983 г., обогащен Pb, Cd в 4.8–8.1 раза, а Zn, Cu, Mn и Hg – в 1.8–2.5 раза по сравнению с нижележащими отложениями, накопленными до 1960 г. В сочетании с данными по динамике добычи и переработки полиметаллических руд в долине р. Рудная это указывает на аэральное поступление техногенного газопылевого материала как на главный источник загрязнения верхнего слоя озерных донных отложений. Обнаружено, что даже при значительном, 2-кратном снижении объемов производства и выбросов в 90-х годах XX в., уровень загрязнения осадочного материала, накапливающегося в донных отложениях, остается высоким, и требуется дальнейший мониторинг для характеристики способности геосистем нижней части долины р. Рудная к самоочищению. Показано, что нормирование концентрации тяжелых металлов относительно Fe, учитывающее вариации гранулометрического состава и содержания гидроксидов Fe, позволяет отследить не только интенсификацию горнорудного производства в 70–80-х годах XX в., но и начало хозяйственной деятельности в конце XIX в. Установлено, что в отличие от тяжелых металлов, концентрация органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ) в верхнем слое отложений отражает изменение природно-климатических условий на водосборе, соотношение автохтонных и аллохтонных источников  $C_{\text{орг}}$  и изменения трофического статуса водоема.

**Ключевые слова:** озерные донные отложения, горно-рудный техногенез, тяжелые металлы, загрязнение, скорость осадконакопления по  $^{210}\text{Pb}$ .

## Anthropogenic and natural factors controlling the composition of bottom sediments of the Vaskovskoe Lake, Eastern Sihote-Alin, Primorye

SHULKIN V.M.

Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok  
Correspondence paper: shulkin@tigdvo.ru

**Abstract.** The vertical distribution of Pb, Cd, Zn, Hg, Cu, Ni, Fe, Mn,  $C_{\text{org}}$  and the rate of sedimentation by  $^{210}\text{Pb}$  in the upper 50 cm layer of bottom sediments of the Vaskovskoe Lake has been studied. Vaskovskoe Lake is located

on the eastern slope of Sihote-Alin range. It existed under the influence of the mining industry at the Rudnaya River Valley. The rate of sedimentation in the central part of the lake is set at  $2.7 \pm 0.26$  mm/year, which allows estimating the change in the chemical composition of bottom sediments over the last 160-180 years. The top 8 cm layer, accumulated after 1983, is enriched by Pb, Cd in 4.8-8.1 times. In the combination with data on the production and processing of polymetallic ores, it indicates the atmospheric deposition of technogenic dust material as the main source of pollution of the lake sediments. It has been found that even with a significant two-fold reduction in production and emissions in the 1990s, pollution levels of sediments remain high, and further monitoring is required to characterize the geosystem's ability to self-purification. It is shown that the heavy metal concentration normalized by Fe, taking into account variations in the grain size composition and content of Fe hydroxides, allows us to track not only the intense mining production in the 70s and 80s of the twentieth century, but also the early beginning of economic activity at the Rudnaya R. valley at the end of the nineteenth century. It has been revealed that unlike heavy metals the concentration of organic matter ( $C_{org}$ ) in the bottom sediments reflects the change in natural and climatic conditions at the catchment, the ratio of autochthonous and allochthonous sources of  $C_{org}$  and changes in the trophic status of the lake.

**Keywords:** mining influence, heavy metals, lake sediments, pollution,  $^{210}\text{Pb}$  dating.

## Введение

Озерные геосистемы являются важными источниками текущей и ретроспективной информации о состоянии среды [1, 2]. В составе компонентов озерных геосистем отражаются как процессы, происходящие в водах озера и на его водосборной площади, так и процессы регионального и глобального переноса загрязняющих веществ, по отношению к которым озера являются седиментационными ловушками и накопителями. При этом состав водной толщи отражает текущее состояние, а донные отложения позволяют оценить ситуацию в прошлом [2]. Долина р. Рудная, расположенная на восточном макросклоне центрального Сихотэ-Алиня, является одним из наиболее неблагоприятных районов Дальнего Востока с точки зрения качества среды. Это обусловлено сосредоточением здесь горно-рудных и горно-химических предприятий г. Дальнегорск, деятельность которых сопровождается выбросами в атмосферу и сбросом в речную сеть значительного количества тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Hg) и сернистых соединений ( $\text{SO}_2$ ) [3, 4]. Соответственно концентрация металлов во многих компонентах ландшафтов долины р. Рудная, включая почвы, растительность, речную воду и взвесь, повышена [5]. Загрязнение обнаружено также в донных отложениях и гидробионтах прибрежной морской акватории, куда впадает р. Рудная [4, 6]. При этом не всегда удается дифференцировать пути и механизмы, а также определить динамику техногенной нагрузки на различные компоненты геосистем, что необходимо для оптимизации ремедиационных мер. Озеро Васьковское, расположенное в правом ответвлении нижней части долины р. Рудная (рис. 1) и отчасти защищенное грядой холмов от прямого влияния предприятий горно-рудного комплекса, представляет собой удобный модельный объект для характеристики существующего уровня аэрационного загрязнения и ретроспективного анализа техногенной нагрузки. Целью данной статьи является анализ вертикального распределения концентрации тяжелых металлов и  $C_{org}$  в верхнем 50-сантиметровом слое донных отложений оз. Васьковское для характеристики связи геохимических данных с динамикой хозяйственной активности и природно-климатическими условиями за последние 160–180 лет, а в дальнейшем – оценки способности геосистем к самоочищению.

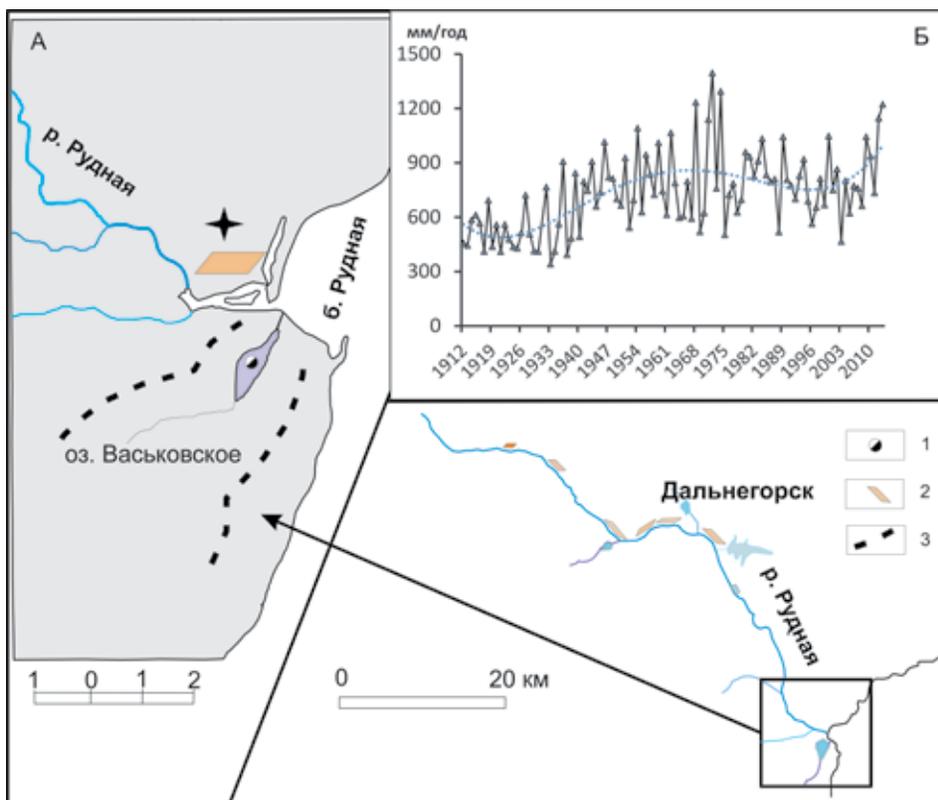
## Материалы и методы

Колонка донных отложений была отобрана в июле 2012 г. в наиболее глубокой части ( $h = 9$  м) котловины озера в точке с координатами (44,34357 С, 135,81729 В). Отбор производился прямоточной трубкой Kadjak с верхним клапаном, обеспечивающим отбор придонного слоя воды и предотвращение размывания верхнего слоя. Корректная работа трубки контролировалась по ненарушенному состоянию обводненного наилка. Цвет отложений буровато-серый в верхних 5–10 см и более темный, но все равно буровато-серый,

т. е. без интенсивных восстановительных сульфат-редуцирующих процессов в нижележащих осадках. Влажность отложений значительна по всей колонке и постепенно уменьшается от 80 % в верхних 5 см до 72 % в слое 45–50 см.

После отбора колонка была разделена на слои толщиной 2 см, которые анализировались как отдельные пробы после высушивания, определения влажности и гомогенизации. Содержание  $C_{\text{орг}}$  определяли методом каталитического окисления на анализаторе Shimadzu TOCСурп. Распределение концентрации металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni) по колонкам современных отложений определяли атомно-абсорбционным методом на приборе Shimadzu 6800 F/G после полного кислотного разложения проб смесью кислот  $\text{HF}-\text{HClO}_4$ . Концентрацию Hg определяли на приборе РА-915+ из отдельной навески материала, высушенного при комнатной температуре. Все анализы проводились на оборудовании ЦКП ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН. Правильность определения концентрации металлов контролировали анализом стандартных образцов BCSS-1 и MESS-4. Расхождение с паспортными данными не превышало 8–10 %.

Кроме того, в слоях 0–1, 3–5, 7–9, 10–11, 15–17, 19–21, 23–25, 29–31, 39–41, 49–50 см определяли концентрацию  $^{210}\text{Pb}$  по удельной альфа-активности дочернего  $^{210}\text{Pb}$  по стандартной методике [7] в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана (СПБГУ). Концентрация  $^{210}\text{Pb}$  в нижних слоях колонок рассматривалась как обусловленная естественным распадом  $^{238}\text{U}$ , а концентрация «избыточного»  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  в верхних слоях колонок рассчитывалась как разница кон-



**Рис. 1.** (А) Схема района работ. 1 – точка отбора колонки донных осадков; 2 – селитебные территории; 3 – направление низгорных хребтов, ограничивающих водосбор оз. Васьковское. (Б) Изменение годового количества атмосферных осадков в п. Рудная Пристань за 1912–2013 гг.

**Fig. 1.** (А) Study area. 1 – sampling point of sediment core; 2 – settlement areas; 3 – axis of the hills range bordering watershed of the Vaskovskoye Lake. (Б) Multiyear changes of annual amount of atmospheric precipitation at the Rudnaya Pristan station for the 1912–2013 period

центрации общего  $^{210}\text{Pb}$  в каждом отдельном слое и равновесного содержания  $^{210}\text{Pb}$  в нижних слоях. Расчет скорости осадконакопления проводился по вертикальному распределению содержания избыточного  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  и модели постоянной начальной концентрации [8].

В качестве показателей масштаба горно-рудной активности в г. Дальнегорске использовали объем добычи полиметаллических руд, которая активно идет с 1914 г., и производства серной и борной кислот, которое началось в 1966 г. [9].

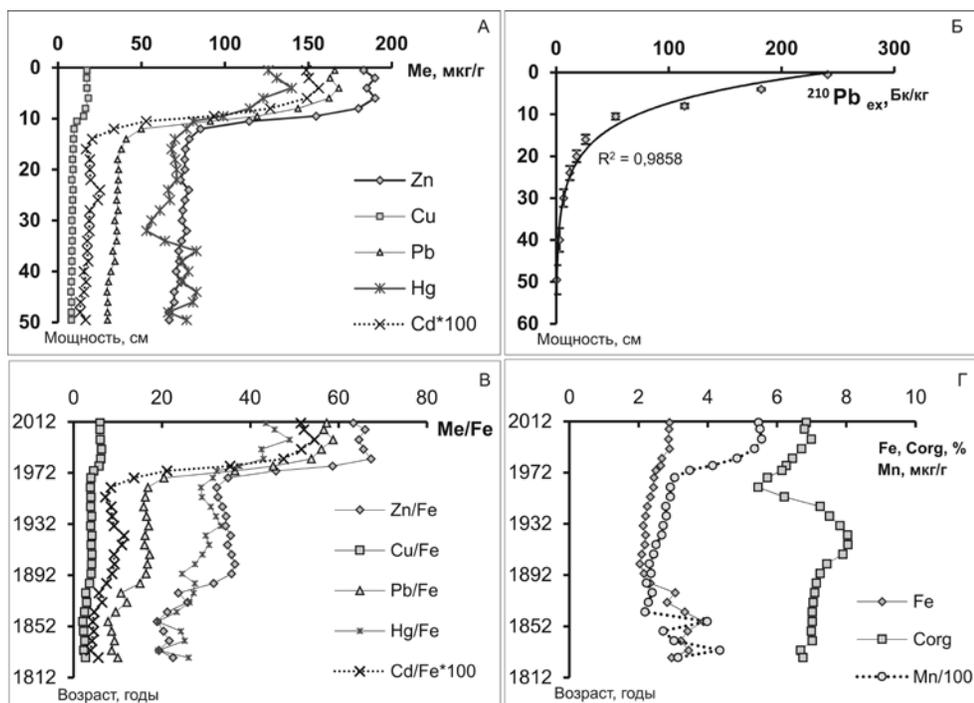
Изменение природно-климатических условий в долине р. Рудная оценивалось по количеству атмосферных выпадений за год, которые являются одним из главных факторов, контролирующих водный режим водотоков и водоемов. Для метеостанции Рудная Пристань (Тетюхе Пристань) имеются наблюдения с 1936 г. [10]. Более ранние наблюдения для данного района отсутствуют, поэтому использовались наблюдения с 1912 по 1935 г. за атмосферными осадками на метеостанции м. Низменный, расположенной в 80 км южнее [11]. Регулярные наблюдения до 1912 г. практически не проводились.

## Результаты и их обсуждение

Расположение оз. Васьковское в боковой долине (рис. 1А) защищает озеро от прямого техногенного воздействия, что подтверждается малой минерализацией вод и низким содержанием растворенных форм металлов, хотя концентрации Pb, Zn, Cd во взвеси и планктоне оз. Васьковское в 2012 г. были в 2–5 раз выше, чем в других озерах восточного Сихотэ-Алиня [12].

Наиболее явно техногенное влияние сказывается на распределении ряда металлов по колонке донных отложений. Концентрация Cd, Pb, Zn в верхнем 10-сантиметровом слое отложений в 5–7 раз выше, чем в осадках нижней части колонки. По Hg, Cu, Mn обогащение верхнего слоя также очевидно, но не столь значительно (в 2–3 раза) (рис. 2А). Вертикальное распределение «избыточного»  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  характеризуется убыванием вниз по колонке по экспоненте (рис. 2Б), соответствующей скорости радиоактивного распада  $^{210}\text{Pb}$ , поступающего в донные отложения с атмосферными осадками. Зная динамику радиоактивного распада  $^{210}\text{Pb}$  и принимая постоянство атмосферного поступления, можно рассчитать скорость накопления донных отложений [8]. Для оз. Васьковское скорость осадконакопления составляет  $2.67 \pm 0.26$  мм/год. Хорошее соответствие распределения  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  экспоненциальному закону свидетельствует о равномерном осадконакоплении со слабой биотурбацией и отсутствием значительного механического перемешивания донных отложений. Это согласуется с особенностями озера – небольшими размерами и слабой волновой активностью. Данные по скорости осадконакопления позволяют соотнести слои колонки с определенным возрастом (рис. 2В, 2Г). Это позволяет констатировать, что наиболее значительное обогащение донных отложений халькофильными тяжелыми металлами началось после 1960 г. После 1983–1990 гг. накопление металлов продолжалось, но с значительно меньшей скоростью, и достигало максимума в осадках, соответствующих 1998 г. В более молодых отложениях, слагающих верхний 3-сантиметровый слой, концентрация Zn, Pb, Cu оставалась на одном уровне, а Hg и Cd даже уменьшалась на 5–8 % относительно максимума (рис. 2В).

Очевидно, что изменчивость концентрации Pb, Cd, Zn, Hg, Cu в донных отложениях оз. Васьковское контролируется прежде всего вариациями их аэрального поступления из техногенных источников. Однако существуют и природные факторы, влияющие на концентрацию металлов в осадках. Наиболее важными из них является гранулометрический состав вследствие тяготения металлов к тонкозернистым пелитовым фракциям, что можно учесть нормализацией относительно Fe [13]. На необходимость учета вариаций гранулометрического состава и других природных факторов указывает заметная и закономерная изменчивость концентрации Fe и  $S_{\text{орг}}$  по колонке (рис. 2Г). Вертикальное распределение по колонке отношений Me/Fe подтверждает значительное загрязнение материала, отлагав-



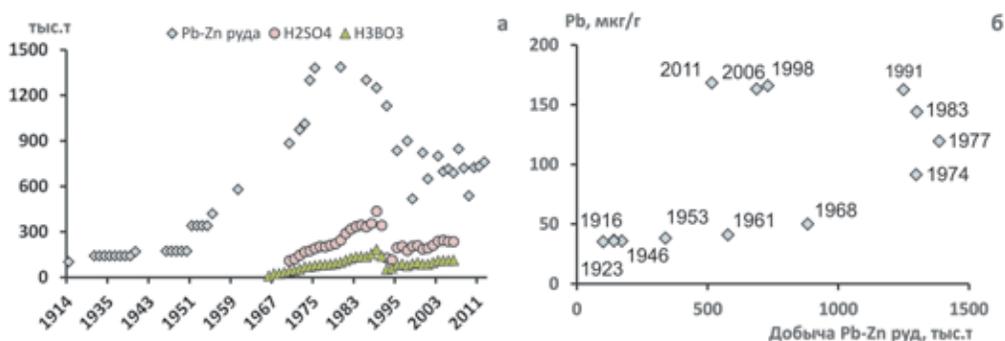
**Рис. 2.** Вертикальное распределение по 50-сантиметровой колонке донных отложений оз. Васьковское: (А) концентрации тяжелых металлов; (Б) «избыточной» концентрации  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ; (В) концентрации тяжелых металлов, нормированных по содержанию Fe; (Г) концентрации Fe, Mn и  $C_{\text{орг}}$  после датирования слоев по уменьшению  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$

**Fig. 2.** Distribution along the 50 cm sediment core at the Vaskovskoe Lake: (a) concentration of the heavy metals; (b) “excessive” concentration of  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ; (v) concentration of heavy metals normalized by Fe content; (г) concentration of Fe, Mn and  $C_{\text{org}}$  along the core after evaluation of the age of sediment layers

шегося после 1970 г. (рис. 2В). Однако наряду с этим по отношениям Pb/Fe, Zn/Fe и отчасти Cu/Fe выделяется еще один временной рубеж в конце XIX в., до которого величина этих отношений в осадках минимальна, а после несколько повышается (рис. 2В). Именно в этот период началось освоение долины р. Рудная переселенцами из европейской части России, сопровождаемое, вероятно, некоторой эмиссией металлов (Pb, Zn, Cu), которую можно косвенно зарегистрировать по химическому составу озерных донных отложений, несмотря на практическое отсутствие горно-рудной деятельности в это время.

Данные по добыче Pb-Zn руд в долине р. Рудная могут рассматриваться как интегральный показатель техногенного пресса, поскольку добыча руды определяет и интенсивность работы обогатительных фабрик – источников сбросов в речную сеть, и работу плавильного завода – источника аэральных выбросов. Еще одним источником загрязнения атмосферы является деятельность горно-химического комбината «Бор», вырабатывающего серную кислоту и боропродукты. Динамика добычи полиметаллических руд характеризуется ускоренным ростом после 1950 и, особенно, после 1970 г. (рис. 3а). Максимальная добыча в 1975–1985 гг. сменилась почти 2-кратным падением в 90-х годах XX в. и стабилизацией ежегодной добычи на уровне 700–800 тыс. т в настоящее время. Период максимальной добычи, а значит, и максимального выброса металлов в атмосферу совпадает со временем резкого повышения концентрации металлов в верхнем слое озерных отложений (рис. 2А). В то же время падение добычи в 1990-е гг. не сопровождается синхронным снижением концентрации халькофильных металлов, в частности Pb (рис. 3б). Аналогичный характер зависимости концентрации в донных отложениях оз. Васьковское от добычи по-

лиметаллических руд в долине р. Рудная обнаружен для Zn, Hg, Cd, Cu. Это указывает на достаточно высокую инерционность геосистемы озера и его водосбора по отношению к аэральному поступлению металлов. То есть избыточное количество металлов, выпавших и накопившихся в ландшафтах водосбора оз. Васьковское в период максимальной техногенной нагрузки 40 лет назад, продолжало поступать в озеро в составе осадочного материала, даже когда аэральные выпадения значительно сократились. В настоящее время можно констатировать, что за 20 лет снижения масштабов техногенного пресса в долине р. Рудная (с 1991 по 2011 г.) концентрация халькофильных металлов в донных отложениях оз. Васьковское практически не уменьшилась (рис. 3б) или уменьшилась очень незначительно (рис. 2А). Очевидно, что необходимо продолжение мониторинга состава озерных донных отложений для характеристики возможности самоочищения лесных ландшафтов от халькофильных металлов.



**Рис. 3.** Динамика добычи Pb-Zn руды и производства серной и борной кислот (тыс. т) на предприятиях в долине р. Рудная (а) и соотношение между добычей руды в отдельные годы и концентрацией Pb в синхронных им слоях колонки донных отложений оз. Васьковское (б)

**Fig. 3.** Dynamics of Pb-Zn ores production and sulfuric and boron acids manufacture (thousand tons) at the enterprises within the Rudnaya R. valley (a), and relationship between Pb-Zn ores production in some years and Pb concentration in the synchronic layers of sediment core of the Vaskovskoye Lake

Распределение Mn в верхних 10–12 см колонки донных отложений оз. Васьковское схоже с таковым для халькофильных металлов (рис. 2А, Г). На первый взгляд это кажется странным, поскольку Mn не является типоморфным элементом полиметаллических руд. Однако в боросиликатных рудах, добываемых карьерным способом в среднем течении долины р. Рудная, концентрация Mn достигает 2–3 % [5], поэтому добыча и переработка боросиликатных руд, вероятно, является причиной относительного повышения концентрации этого металла до 500–550 мкг/г в верхнем слое озерных донных отложений. Это предположение подтверждается тем, что увеличение концентрации Mn в отложениях начинается только с 1973 г. (рис. 2Г), т.е. при выходе комбината «Бор» на плановые показатели в 1972–1974 гг. (рис. 3а). До этого периода концентрация Mn в озерных отложениях составляла около 300 мкг/г, что значительно уступает средней концентрации в речной взвеси 1150 мкг/г [14], и далее уменьшалась до 220–240 мкг/г в нижележащих слоях, накопившихся во второй половине XIX в. (рис. 2Г). Однако, далее вниз по колонке концентрация Mn вновь возрастала до 300–435 мкг/г синхронно с концентрацией Fe, что указывает на определяющую роль вариаций гранулометрического состава в отложениях этого периода.

Концентрация Fe и  $C_{орг}$  в верхних 5–6 см донных отложений оз. Васьковское, накопившихся после 1990 г., постоянна и составляет 2.9 и 6.8–7.0 % соответственно. В отложениях 1990–1960 гг. наблюдалось закономерное снижение концентрации  $C_{орг}$  от 7.0 до 5.45 % с увеличением возраста, однако концентрация Fe при этом уменьшилось лишь с 2.89 до 2.43 % (рис. 2Г), что исключает влияние вариаций гранулометрического состава. В более ранних отложениях 1923–1960 гг., напротив, имело место закономерное повы-

шение концентрации  $C_{\text{орг}}$  с увеличением возраста – от 5.45 до 8.05 % (рис. 2Г). В отложениях начала XX в. концентрация  $C_{\text{орг}}$  оставалась на этом достаточно высоком уровне (7.9–8.05 %), а затем быстро снижалась до 7.44 % на рубеже веков и постепенно до 7.02 % в течение XIX в. (рис. 2Г). Таким образом, изменение концентрации  $C_{\text{орг}}$  по колонке озерных отложений за последние 180 лет характеризуется четкими периодами повышения и снижения. Отсутствие при этом какой-либо корреляции с вариациями содержания Fe не позволяет обосновать это изменением гранулометрического состава. Процесс деструкции органического вещества может быть ответственен за снижение  $C_{\text{орг}}$  в верхних 10–12 см отложений. Схожий характер распределения  $C_{\text{орг}}$  в верхнем слое донных осадков Онежского озера [15] подтверждает возможность такого механизма. Однако характер изменения концентрации  $C_{\text{орг}}$  в нижележащих отложениях, накопленных до 1960 г. (рис. 2Г), указывает на другие факторы, контролирующие содержание и накопление органического вещества в донных осадках оз. Васьковское. Изменения степени эвтрофирования озера за счет сукцессионных изменений и/или вариаций стока с водосбора кажутся наиболее вероятными причинами столь значительных изменений концентрации органического вещества в накапливающемся осадочном материале. Данные по межгодовой изменчивости атмосферных осадков в низовьях р. Рудная начиная с 1912 г. (см. рис. 1Б) не обнаруживают прямой связи с минимумом  $C_{\text{орг}}$  в донных отложениях конца 50–начала 60-х годов XX в. (рис. 2Г). Дополнительные исследования, такие как диатомовый анализ и определение особенностей состава органического вещества отложений, необходимы для детализации причин изменчивости концентрации  $C_{\text{орг}}$  в осадках оз. Васьковское, накопивавшихся во второй половине XIX – начале XX в. В нижней части колонки отложений наблюдается повышенная и изменчивая концентрация Fe (рис. 2Г), обусловленная вариациями гранулометрического состава, которые, в свою очередь, контролируются водным режимом. Таким образом, в отличие от халькофильных металлов и Mn концентрация  $C_{\text{орг}}$  и Fe в донных отложениях оз. Васьковское контролируется, вероятно, природными факторами.

### Закключение и выводы

Изучение вертикального распределения концентрации Pb, Cd, Zn, Hg, Cu, Ni, Fe, Mn, а также  $C_{\text{орг}}$  в 50-сантиметровой колонке донных отложений оз. Васьковское выявило обогащение верхнего 8–10-сантиметрового слоя по сравнению с нижележащим рядом металлов. Максимальное увеличение в 4.8–8.1 раза наблюдалось для Pb, Cd. Для Zn, Cu, Mn и Hg обогащение составляло 1.8–2.5 раза. Учитывая активную горно-рудную деятельность в долине р. Рудная, связанную с добычей и переработкой Pb-Zn руд, единственно возможной причиной аномально повышенной концентрации халькофильных металлов в озерных донных отложениях может быть аэральное поступление техногенного газопылевого материала прямо на зеркало озера или через мобилизацию на водосборе и поверхностный сток.

Распределение  $^{210}\text{Pb}$  по той же колонке донных отложений свидетельствует об отсутствии заметного механического перемешивания, что позволило определить скорость осадконакопления за последние 160–180 лет в  $2.7 \pm 0.26$  мм/год. В таком случае слою с повышенной концентрацией Pb и других металлов соответствует период после 1983 г. с предшествующим ему периодом ускоренного роста с 1968 до 1983 г. Это совпадает с динамикой роста добычи и переработки Pb-Zn руд на предприятиях долины р. Рудная, что является косвенным свидетельством правильности определения скорости осадконакопления в оз. Васьковское и подтверждает техногенный характер повышенной концентрации ряда халькофильных металлов в озерных отложениях.

Постоянно высокая концентрация халькофильных металлов наблюдается по всему верхнему 8–10-сантиметровому слою осадков, включая материал, отложившийся в последние 20 лет, когда масштабы добычи и переработки снизились в 2 раза, а плавильное

производство как важный источник азральных выбросов Pb прекратилось. Это указывает на пролонгированное техногенное воздействие на химический состав донных осадков и необходимость продолжения мониторинга состава отложений оз. Васьковское для оценки динамики самоочищения компонентов ландшафтов.

В осадках, накопившихся в начале и середине XX в., когда масштабы горно-рудной деятельности значительно уступали настоящим, абсолютные величины концентрации халькофильных металлов были повышены незначительно. Однако нормирование относительно Fe, учитывающее вариации гранулометрического состава и содержание гидроксидов Fe, позволило разделить осадки, накопившиеся в конце XIX–начале XX в., когда началось хозяйственное освоение долины р. Рудная, от более ранних отложений, где величины концентраций халькофильных металлов, нормированных относительно Fe, были минимальны.

В отличие от халькофильных металлов, концентрация  $C_{орг}$  в верхнем 10–15-сантиметровом слое донных отложений определяется сочетанием деструкционных процессов, ведущих к снижению количества  $C_{орг}$ , и природно-климатических факторов, контролирующих сток с водосбора, соотношением автохтонных и аллохтонных источников органического вещества. Нельзя исключать и долговременные изменения трофического статуса водоема. Дополнительные исследования (диатомовый анализ) необходимы для конкретизации природных факторов, контролирующих вертикальное распределение содержания  $C_{орг}$  в донных отложениях оз. Васьковское, накопившихся за последние 160–180 лет.

### Литература

1. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М: Наука, 2010. 268 с.
2. Субетто Д.А., Севастьянов Д.В., Сапелко Т.В., Бойнагрян В.Р., Греков И.М. Озера как накопительные информационные системы и индикаторы климата // Астраханский вестн. экол. образования. 2017. № 4 (42). С. 414.
3. Аржанова В.С. Влияние горнопромышленного техногенеза на речные воды // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 39–44.
4. Шулькин В. М., Чернова Е. Н., Христофорова . К., Коженкова с. И. Влияние горнорудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2014. № 6. С. 483–494.
5. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 253 с.
6. Shulkin V.M. Pollution of the coastal bottom sediments at the Middle Primorie (Russia) due to mining activity // Environmental Pollution. 1998. Vol. 101. P. 401–404.
7. Blanchard R. L. Rapid determination of Lead – 210 and Polonium – 210 in Environmental samples by deposition on Nickel // Anal. Chem. 1966. Vol. 38. P. 189–192.
8. Купцов В. М. Абсолютная геохронология донных осадков океанов и морей. М.: Наука, 1986. 271 с.
9. Колесников Н.В. Тетюхе-Дальнегорск: материалы из истории поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, развития горнорудной промышленности и металлургического производства, социальных вопросов в Дальнегорском районе. Дальнегорск, 2017. 646 с.
10. Единый государственный фонд данных Росгидромета. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://aisori-m.meteo.ru/waisori> (Дата обращения: 01.12.2020).
11. Климатический справочник СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 26, ч. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1958. 345 с.
12. Чернова Е.Н., Шулькин В.М., Лысенко Е.В., Луценко Т.Н., Болдескул А.Г. Гидрохимические и биогеохимические особенности пресных и солоноватоводных озер восточного Сихотэ-Алиня // Изв. ТИПРО. 2014. Т. 178. С. 157–172.
13. Jung, H.S., Lim D., Xu Z., Kang J.H. Quantitative compensation of grain-size effects in elemental concentration: A Korean coastal sediments case study // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2014. 151. P. 69–77.
14. Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.
15. Белкина Н.А. Количественный и качественный состав органического вещества и его трансформация в поверхностном слое донных отложений Онежского озера // Тр. Карельского научного центра РАН. 2017. № 10. С. 64–72.

## Reference

1. Moiseenko, T.I.; Gashkina, N.A. Chemical composition of lake waters at the environmental changes. Nauka: Moscow, Russia, 2010; 268 p. (In Russian)
2. Subetto, D.A.; Sevastyanov, D.V.; Sapelko, T.V.; Boynagryan, V.Z.; Grekov, I.M. Lake as accumulative information systems and climate indicators. *Astrahanskyi Vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*. 2017, 4, 4-14. (In Russian)
3. Arzhanova, V.S. Influence of mining industry on the river waters. *Geography and natural resources*. 2010, 1, 39-44. (In Russian)
4. Shulkin, V.M.; Chernova, E.N.; Khristoforova, N.K.; Kozhenkova, S.I. Influence of mining activity on the chemical composition of water ecosystems. *Geoecology, Engineering geology, hydrogeology, geocriology*. 2014, 6, 483-494. (In Russian)
5. Elpatyevsky, P.V. Geochemical fluxes in the natural and natural-technogenic geosystems. Nauka: Moscow, Russia, 1993; 253. (In Russian)
6. Shulkin, V.M. Pollution of the coastal bottom sediments at the Middle Primorie (Russia) due to mining activity. *Environmental Pollution*. 1998, 101, 401-404.
7. Blanchard, R.L. Rapid determination of Lead - 210 and Polonium - 210 in Environmental samples by deposition on Nickel. *Anal. Chem.* 1966, 38, 189-192.
8. Kuptsov, V.M. Geochronology of the marine bottom sediments. Nauka: Moscow, Russia, 1986; 271 p. (In Russian)
9. Kolesnikov, N.V. Tetue-Dalnegorsk: Data from the history of the prospecting of mineral resources, development of mining and smelting industry, and social progress in the Dalnegorsk area. Dalnegorsk. 2017; 646. (In Russian)
10. Unified State Data Fund of Roshydromet. Available online: <https://aisori-m.meteo.ru/waisori> (accessed on 1 Desember 2020) (In Russian)
11. Klimaticheskyy spravochnik USSR. Meteorological data for some years. Vol 26. Part II. Leningrad. Hydrometeoizdat. 1958; 345 p. (In Russian)
12. Chernova, E.N.; Shulkin, V.M.; Lysenko, E.V.; Lutsenko, T.N.; Boldeskul, A.G. Hydrochemical and biogeochemical features of freshwater and brackish lakes in eastern Sikhote-Alin. *Izv. TINRO*. 2014, 178, 157-172. (In Russian)
13. Jung, H.S.; Lim, D.; Xu, Z.; Kang, J.H. Quantitative compensation of grain-size effects in elemental concentration: A Korean coastal sediments case study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2014, 151, 69-77.
14. Savenko, V.S. Chemical composition of world river's suspended matter. GEOS: Moscow, Russia, 2006; 175 p. (In Russian)
15. Belkina, N.A. Quantitative and qualitative composition of organic matter and its transformation in a surface layer of the Lake Onego sediments. *Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC of RAS]*. 2017, 10, 64-72. (In Russian)