

Анахов Павло Володимирович, інженер служби телекомунікацій, відокремлений підрозділ "Інформаційно-технологічний центр" державного підприємства "Національна енергетична компанія "Укренерго", м. Київ, Україна, вул. С. Петлюри, 27, 01032, (050)385-7841, anakhov@i.ua

ШВИДКЕ ОЦІНЮВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ВОДОЙМИ

У статті розроблено оперативного методу оцінювання доцільності впровадження інноваційних проектів з використання гідроенергетичного потенціалу власних коливань водойм в невизначених гідрологічних умовах. Визначено, що загальний гідроенергетичний потенціал України, окрім природного стоку, складають хвилі і течії, для використання яких постійно пропонуються нововведення. Показано, що потенціали водойм визначають їх індивідуальні спектри, побудова яких є трудомістким дослідженням. Власні коливання збуджуються одиничним імпульсом зовнішньої по відношенню до водойми сили. Імпульсом зовнішньої сили виступає довгоперіодна хвиля порівняної із власними коливаннями водойми частоти: періодичні припливно-утворюючі сили Сонця і Місяця; вітрове хвилювання, яке призводить до виникнення згонів і нагонів; накопичення води в одній частині водойми, викликане потоками впадаючих і витікаючих рік або зливою; різкі зміни атмосферного тиску над водною поверхнею чи льодовим покривом; сейсмічні явища. Обґрунтовано зв'язок між зовнішньою збуджуючою силою і тією частиною коливань гідрометеорологічної характеристики, яка створюється цією збуджуючою силою, та побудовано генетичний метод довгострокових морських прогнозів. Водойма розглядаються, як генератор сейшових хвиль і течій в невизначених гідрологічних умовах. Для розрахунків застосовано генетичний метод, результатом якого є побудова амплітудно-частотної характеристики коливань басейну, збуджених зовнішньою силою. Наведено типові спектри коливань рівня і течій водойм. Для прийняття рішення щодо доцільності використання потенціалу пропонується порівняти розраховану питому вартість електроенергії із вартістю енергії, виробленої альтернативними способами. Визначено характеристики ГЕС, які слід розглядати при оцінюванні доцільності використання енергетичного потенціалу власних коливань водойми.

Ключові слова: АЧХ водойми; генетичний метод; питома вартість електроенергії; сейшові хвилі.

Анахов Павел Владимирович, инженер службы телекоммуникаций, обособленное подразделение "Информационно-технологический центр" государственного предприятия "Национальная энергетическая компания "Укрэнерго", г. Киев, Украина, ул. С. Петлюры, 27, 01032, (050)385-7841, anakhov@i.ua

БЫСТРОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВОДОЕМА

В статье разработан метод оценки целесообразности внедрения инновационных проектов по использованию гидроэнергетического потенциала собственных колебаний водоемов в неопределенных гидрологических условиях. Определено, что общий гидроэнергетический потенциал Украины, кроме естественного стока, составляют волны и течения, для использования которых постоянно предлагаются нововведения. Показано, что потенциалы водоемов определяют их индивидуальные спектры, построение которых является трудоемким исследованием. Собственные колебания возбуждаются единичным импульсом внешней по отношению к водоему силы. Импульсом внешней силы выступает долгоперіодна волна сопоставимой с собственными колебаниями водоема частоты: периодические приточно-образующие силы Солнца и Луны; ветровое волнение, которое приводит к возникновению ф и нагонів; накопления воды в одной части водоема, вызванное потоками впадающих и вытекающих вод или ливнем; резкие изменения атмосферного давления над водной поверхностью или льдовым покровом; сейсмические явления. Обоснована связь между внешней уплотняющей центробежной силой и той частью колебаний гидрометеорологической характеристики, которая создается этой уплотняющей центробежной силой, и разработан генетический метод долгосрочных морских прогнозов. Водоем рассматривается, как генератор сейшеловых волн и течений в неопределенных гидрологических условиях. Для расчетов применен генетический метод, результатом которого является построение амплитудно-частотной характеристики колебаний бассейна, возбужденных внешней силой. Приведены типичные спектры колебаний уровня и течений водоемов, для принятия решения о целесообразности использования потенциала предлагается сравнить рассчитанную удельную стоимость электроэнергии со стоимостью энергии, производимой альтернативными способами. Определены характеристики ГЭС, которые следует рассматривать при оценке целесообразности использования энергетического потенциала собственных колебаний водоема.

Ключевые слова: АЧХ водоема; генетический метод; удельная стоимость электроэнергии; сейшевые волны.

Anakhov Pavlo Volodymyrovich, engineer of telecommunication office, Separated Subdivision "Information and Technology Centre" State Enterprise "National Energy Company "Ukrenergo", Kiev, Ukraine, S. Petlyury street, 27, 01032, (050)385-7841, anakhov@i.ua

FAST FEASIBILITY ASSESSMENT OF WATER BODIES FREE OSCILLATIONS ENERGY POTENTIAL USE

The author has developed an operational method of assessing the expediency of implementing innovative projects on the use of the hydropower potential of the natural oscillations of water in an uncertain hydrological conditions. It is determined that the total hydropower potential of Ukraine, in addition to natural runoff, are waves and currents, which are constantly offered innovations. It is shown that the capacities of the reservoirs determine their individual spectra, the construction of which is a time consuming study. Self-oscillations are excited by a single pulse external to the reservoir of power. Impulse external force acts Dolgoprudny wave is comparable with the natural oscillations of the reservoir frequency: periodic inlet-forming power of the Sun and moon; wind waves, which leads to f and Negev; the accumulation of water in one part of the reservoir, caused by the streams flowing into and flowing year or rainfall; abrupt variations in atmospheric pressure above the water surface or ice cover; seismic phenomena. Substantiates the connection between the external seal centrifugal force and the part of the fluctuations of the hydrometeorological characteristics of this sealing which is created by centrifugal force, and constructed a genetic method of long-term marine forecasts. The pond is seen as a generator of sasova waves and currents in an uncertain hydrological conditions. For the calculations applied the genetic method, the result of which is the construction of amplitude-frequency characteristics of oscillations of the pool, excited by an external force. Typical spectra level oscillations and currents of water bodies For decision making on the appropriateness of potential it is proposed to compare the calculated unit cost of electricity with the cost of energy produced by alternative methods. The characteristics of GES, which should be considered when assessing the feasibility of using the energy potential of natural oscillations of the reservoir.

Keywords: frequency response of water body; genetic method; unit cost of electricity; seiche waves.

Постановка проблеми

Гідроенергетичний потенціал водойм України складають енергії хвиль і течій. Перелік вітчизняних інновацій, що мають на увазі вирішення проблеми, включає зокрема: оригінальні розробки (див. патенти України, МПК F03B 13/12 – гідроелектростанції, що використовують енергію хвиль або припливів; МПК E02B 9/08 – гідроелектростанції; їх розміщування, конструкція або устаткування, способи та пристрої для їх зведення) [1]; проект хвильової електростанції НВФ "КРОК-1" [2]; проекти хвильових електростанцій ПАТ "Укргідропроєкт" [3]. Редакційною радою журналу «Винахідник і раціоналізатор» проводився конкурс, кращим визначено проект "Стимулювання коливань сейшових хвиль у водосховищах електростанцій", автор Анахов П. В. [4]. Створення умов для резонансного збудження і розгойдування стоячих сейшових хвиль (власних коливань водойм) місячно-сонячними припливами, а також хвилями, що формуються при управлінні водопрпускними гідроспорудами, водоскидними або водопідйомними, дозволить підвищити виробіток електроенергії [5]. Потенціали водойм визначають їх індивідуальні спектри, побудова яких є трудомістким дослідженням. Нововведення поступово дешевшають. Метою статті визначено розробку оперативного методу оцінювання доцільності впровадження інноваційних проєктів з використання гідроенергетичного потенціалу власних коливань водойм в невизначених гідрологічних умовах.

Основний матеріал

На рис. 1, 2 показано типові спектри коливань рівня і течій водойм, відповідно. Питомий потік енергії на одиницю ширини хвильового фронту і на одиницю довжини хвилі вздовж напрямку її поширення (лінійну густину потоку енергії) розрахуємо за формулою [7]:

$$P/m(\omega) = \frac{\rho g^2 A^2}{8\pi f}, \quad (1)$$

де $P/m(\omega)$ – функція частоти хвилі; $\omega = 2\pi f$ – кругова частота; ρ – густина води; g – прискорення вільного падіння; $A=h/2$, h, f , $T=1/f$ – амплітуда, висота, лінійна частота і період хвилі, відповідно.

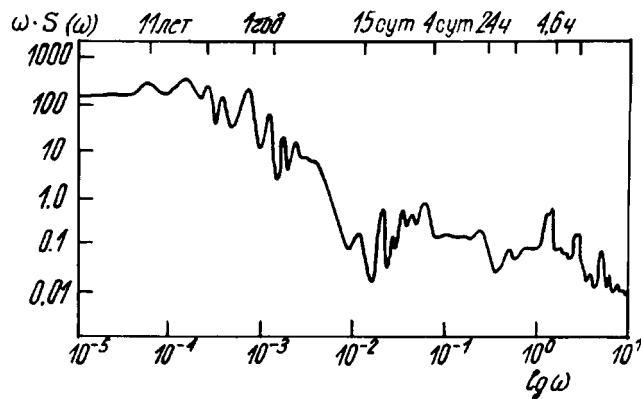


Рис. 1. Спектр коливань рівня Ладозького озера для широкого діапазону частот: основний період поздовжньої сейші (перша мода T_{10}) становить 4,5 години при амплітуді до 8 см [6]

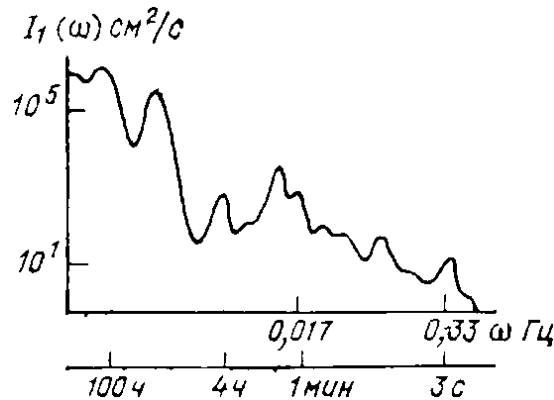


Рис. 2. Спектр течій Ладозького озера [8]

Густину потужності потоку води течії (поверхневу густину потоку енергії) розрахуємо за формулою [7]:

$$\frac{P}{m^2}(\omega) = \rho \frac{V^3}{2}, \quad (2)$$

де V – швидкість течії.

Власні коливання збуджуються одиничним імпульсом зовнішньої по відношенню до Імпульсом зовнішньої сили виступає довгоперіодна хвиля порівняної із власними коливаннями водойми частоти: періодичні припливно-утворюючі сили Сонця і Місяця; вітрове хвилювання, яке призводить до виникнення згонів і нагонів; накопичення води в одній частині водойми, викликане потоками впадаючих і витікаючих рік або зливою; різкі зміни атмосферного тиску над водною поверхнею чи льодовим покривом; сейсмічні явища [9]. Виходячи із наявності зв'язку між зовнішньою збуджуючою силою і тією частиною коливань гідрометеорологічної характеристики, яка створюється цією збуджуючою силою, побудовано генетичний метод довгострокових морських прогнозів. В термінах резонансного збудження відкритої частотно-вибіркової системи "водойма" генетичний метод має на увазі зв'язок між зовнішньою збуджуючою силою частотою f_{out} і частотним діапазоном коливань гідрологічної характеристики, який реагує на збудження [10]. Постійно діючою і добре прогнозованою зовнішньою збуджуючою силою є приплив. Не можна оминати увагою той факт, що в японській літературі сейші називають вторинними

коливаннями, спричиненими припливами. Амплітуда сейшової хвилі, збудженої припливом, становить [11]:

$$A = \left[\left(1 - \frac{nf_{out}}{f} \right)^2 + Q^{-2} \left(\frac{nf_{out}}{f} \right)^2 \right], \quad n = (\overline{1;n}) \wedge (\overline{1;1/n}), \quad (3)$$

де Q – добротність водойми, яка визначає втрати енергії в коливальній системі і ширину смуги частот резонансу; \wedge – логічна операція кон'юнкції (АБО).

Частоту поздовжніх сейш розрахуємо за формулою Меріана для прямокутного басейну з горизонтальним дном [11]:

$$f_{m0} = \frac{m\sqrt{g\overline{D}}}{2L}, \quad m = \overline{1;m}, \quad (4)$$

де m – мода поздовжніх коливань; $c = \sqrt{g\overline{D}}$ – швидкість розповсюдження довгоперіодних хвиль в басейні; L, \overline{D} – довжина і середня глибина басейну, відповідно.

Основним фактором, що визначає втрати енергії в замкнутому басейні, є тертя води об дно. Для закритої прямокутної водойми з горизонтальним дном добротність можна розрахувати за формулою [11]:

$$Q = \frac{L}{W}, \quad (5)$$

де W – ширина басейну.

В табл. 1 представлено дані щодо добротностей деяких напівзакритих водойм світу. Резонансні частоти на рівні половинної потужності становлять [11]:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{1/2}^- = f \left(1 - \frac{1}{2Q} \right); \\ f_{1/2}^+ = f \left(1 + \frac{1}{2Q} \right) \end{array} \right\}. \quad (6)$$

Таблиця 1

Значення добротностей напівзакритих водойм світу

Місцезнаходження	Добротність
Бухта Алексеева, о. Попова, Росія [12]	2,9-8,6
Бухта Крабова (прилягаюча акваторія), о. Шикотан, Росія [12]	2,11
Елххорн Слау (Elkhorn Slough), припливний басейн і гирло р. Salinas, затока Монтерей, США [13]	4-8
Затока Аніва, південне узбережжя о. Сахалін, Росія [12]	1,4-5,1
Затока Арраял-ду-Кабу (Arraial do Cabo), Бразилія [13]	12
Затока Касатка, о. Ітуруп, Росія [12]	2
Затока Монтерей (Monterey), США [13]	4-8
М. Горнозаводськ, південно-західне узбережжя о. Сахалін, Росія [12]	1,85-7,5
М. Холмськ, затока Невельського, о. Сахалін, Росія [12]	4,9
Малокурильська бухта, о. Шикотан, Росія	2,8-10,3 [12]; 9-14 [13]
Порт Ферроль (Ferrol), Іспанія [13]	0,7-9,8
С. Бошняково, західне узбережжя о. Сахалін, Росія [12]	2,4-4,7
С. Орлово, західне узбережжя о. Сахалін, Росія [12]	3,9-4,5
С. Чехов, західне узбережжя о. Сахалін, Росія [12]	4,3
Южно-Курильська протока, о-ви Кунашир і Шикотан, Росія [12]	1,7-3,0

На рис. 3 показано отриману в результаті розрахунків амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) сейшових коливань Ладозького озера, збуджених місячним припливом періодом $T_{out}=12$ год. 25,2 хв. (площа водної поверхні водойми $S=17\ 836$ км²; довжина $L=197$ км; середня глибина $\bar{D} = 51$ м [9]).

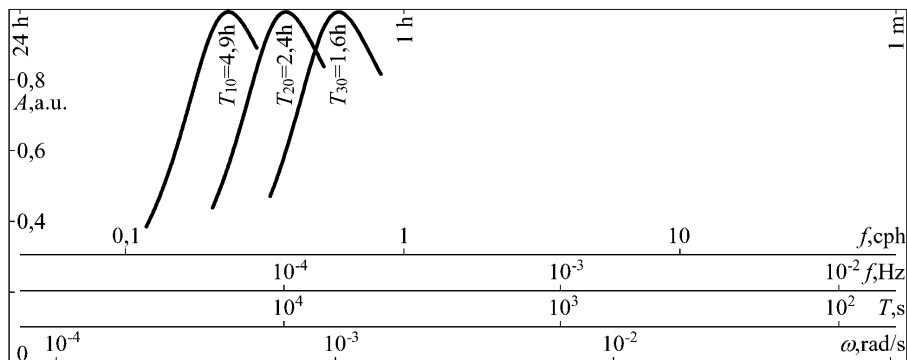


Рис. 3. АЧХ сейш Ладозького озера
Швидкість сейшової течії розраховуємо за формулою [11]:

$$V = A \sqrt{\frac{g}{D}} \tag{7}$$

Потужність ГЕС безпосередньо залежить від коефіцієнта корисної дії використовуваного генератора η у вибраному діапазоні частот:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_w = \eta(f) \times \left(\frac{P}{m}\right) \times l; \\ N_c = \eta(f) \times \left(\frac{P}{m^2}\right) \times s \end{array} \right\} \tag{8}$$

де N_w, N_c – потужності хвильової ГЕС і ГЕС, що використовує енергію течій, відповідно; l, s – довжина і площа гідрохвильових перетворювачів, відповідно.

У багатьох водоймах сейші діють протягом 30-50% тривалості безледоставного періоду: в озері Байкал сейші діють майже безперервно, найбільшу повторюваність мають одноузлові коливання – 84% тривалості безледоставного періоду; в озері Балхаш сейші діють в середньому близько 60% часу, а в окремі місяці безледоставного періоду сумарний час їх дії досягає 80% [14].

Виразимо повторюваність сейш через коефіцієнт їх тривалості за встановлену одиницю часу $k\%$. Тоді сумарна потужність енергетичної установки за встановлену одиницю часу становитиме

$$N_{\%} = k_{\%} N \tag{9}$$

При оцінюванні доцільності використання енергетичного потенціалу власних коливань водойми доречно порівняти питомі вартості електроенергії $C\%$, виробленої різними способами, пропонуваним і альтернативним. Розрахунку підлягає відношення витрат на виробництво електроенергії C до сумарної потужності:

$$C_{\%} = \frac{C}{N_{\%}} \tag{10}$$

Висновки

1. Загальний гідроенергетичний потенціал України, окрім природного стоку, складають хвилі і течії, для використання яких постійно пропонуються нововведення.
2. Водойма розглядається в якості генератора вертикальних коливань хвиль і горизонтальних течій. Для випадку невизначених гідрологічних умов застосовано генетичний метод, результатом якого є побудова АЧХ сейшових коливань, збуджених зовнішньою по відношенню до водойми силою.

3. Визначено характеристики ГЕС, які слід розглядати при оцінюванні доцільності використання енергетичного потенціалу власних коливань водойми.
4. Оцінювання доцільності використання потенціалу власних коливань виконується шляхом порівняння питомих вартостей електроенергії, розрахованої і виробленої альтернативними способами.

Список використаної літератури:

1. Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні". – Режим доступу: <http://base.uipv.org>.
2. Проект енергообеспечения объектов акватории Чёрного моря энергией морских волн / НПФ "Крок-1". Рук. проекта В. Овсянкин. – К., 2009. – Режим доступу: <http://krok-1.com.ua>.
3. Осадчий С. Д. Перспективы развития волновой энергетики / С. Д. Осадчий, А. В. Савченко // Гідроенергетика України. – 2012. – №1. – С. 19-20.
4. Конкурс "Мала поновлювальна енергетика - 2016" завершено! // Винахідник і раціоналізатор. – 2016. – №6. – С. 2.
5. Анахов П. В. Возможные перспективы использования сейшових хвиль в гідроенергетиці України / П. В. Анахов // Гідроенергетика України. – 2016. – №1-2. – С. 10-12.
6. Филатов Н. Н. Гидродинамика озер / Н. Н. Филатов. – СПб.: Наука, 1991. – 200 с.
7. Возобновляемые и вторичные источники энергии / сост. В. М. Житаренко. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 200 с. – Режим доступу: <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/1040>.
8. Филатов Н. Н. Динамика озер / Н. Н. Филатов. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 167 с.
9. Арсеньева Н. М. Сейши на озерах СССР / Н. М. Арсеньева, Л. К. Давыдов, Л. Н. Дубровина, Н. Г. Конкина. – Л.: изд-во Ленинградского университета, 1963. – 184 с.
10. Абузаров З. К. Морские прогнозы / З. К. Абузаров, К. И. Кудрявая, Е. И. Серяков, Л. И. Скриптунова. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
11. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapore: World Scientific Publ., 2009. – P. 193-236.
12. Ковалев П. Д. Особенности сейшевых колебаний в заливах и бухтах Дальнего Востока: Приморья, Сахалина, Южных Курильских островов / П. Д. Ковалев, Д. П. Ковалев // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, вып. 4. – С. 1377-1382.
13. Lopeza M. Long period oscillations and tidal level in the Port of Ferrol / M. Lopez, G. Iglesias, N. Kobayashi // Applied Ocean Research. – 2012. – Vol. 38. – P. 126-134.
14. Судольский А. С. Динамические явления в водоемах / А. С. Судольский. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 263 с.

References:

1. Spetsializovana BD "Vynakhody (korysni modeli) v Ukraini". – Rezhym dostupu: <http://base.uipv.org>.
2. Proekt enerhoobespecheniya obyektov akvatoryy Chërnoho moria enerhyei morskyykh voln / NPF "Krok-1". Ruk. proekta V. Ovsiankin. – K., 2009. – Rezhym dostupu: <http://krok-1.com.ua>.
3. Osadchyi S. D. Perspektyvy rozvytyia volnovoï enerhetyky / S. D. Osadchyi, A. V. Savchenko // Hidroenerhetyka Ukrainy. – 2012. – №1. – S. 19-20.
4. Konkurs "Mala ponovliuvalna enerhetyka - 2016" zavershenno! // Vynakhidnyk i ratsionalizator. – 2016. – №6. – S. 2.
5. Anakhov P. V. Mozhlyvi perspektyvy vykorystannia seishovykh khvyl v hidroenerhetytsi Ukrainy / P. V. Anakhov // Hidroenerhetyka Ukrainy. – 2016. – №1-2. – S. 10-12.
6. Fylatov N. N. Hydrodynamyka ozer / N. N. Fylatov. – SPb.: Nauka, 1991. – 200 s.
7. Vozobnovliaemyye y vtorychnyye ystochnyky enerhyi / sost. V. M. Zhytarenko. – Maryupol: PHTU, 2006. – 200 s. – Rezhym dostupu: <http://umm.pstu.edu/handle/123456789/1040>.
8. Fylatov N. N. Dynamyka ozer / N. N. Fylatov. – L.: Hydrometeoyzdat, 1983. – 167 s.
9. Arseneva N. M. Seishy na ozerakh SSSR / N. M. Arseneva, L. K. Davydov, L. N. Dubrovyna, N. H. Konkyna. – L.: yzd-vo Lenynhradskoho unyversyteta, 1963. – 184 s.
10. Abuziarov Z. K. Morskye prohnozy / Z. K. Abuziarov, K. Y. Kudriavaia, E. Y. Seriakov, L. Y. Skryptunova. – L.: Hydrometeoyzdat, 1988. – 319 s.
11. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapore: World Scientific Publ., 2009. – P. 193-236.
12. Kovalev P. D. Osobennosti seishovykh kolebaniy v zalyvakh y bukhtakh Dalneho Vostoka: Prymor'ia, Sakhalyna, Yuzhnykh Kurylyskyykh ostrovov / P. D. Kovalev, D. P. Kovalev // Vestnyk Tambovskoho unyversyteta. Seryia: Estestvennye y tekhnicheskyye nauky. – 2013. – T. 18, vyr. 4. – S. 1377-1382.
13. Lopeza M. Long period oscillations and tidal level in the Port of Ferrol / M. Lopez, G. Iglesias, N. Kobayashi // Applied Ocean Research. – 2012. – Vol. 38. – P. 126-134.
14. Sudolskiy A. S. Dynamicheskiye yavleniya v vodoemakh / A. S. Sudolskiy. – L.: Hydrometeoyzdat, 1991. – 263 s.

Прийнята до друку 27. 11. 2019 р.