

Поліщук В.В.

Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ГІДРОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ВЕЛИЧИН ПЛОЩИННОГО ЗМИВУ І ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОД РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ

Ключові слова: ГІС технології; гідрологічна модель; площинний змив; водозбір; моделювання

Актуальність проблеми. Сучасний екологічний стан русел річок в основному визначається ступенем антропогенного навантаження як в самій річці, так і видом господарської діяльності на території її водозбору. Особливістю малих річок є залежність їх руслоформуючої діяльності від характеру та інтенсивності ерозійних процесів на водозборі [1]. Чим менша річка, тим більший контакт її русла з водозбором, куди безпосередньо змивається з його площі ерозійний матеріал та з ним різний спектр хімічних елементів, що формують забруднення її вод. При розвитку антропогенної ерозії ґрунтів на водозборі в малі річки надходить надлишкова кількість пролювію по відношенню до транспортувальної здатності потоку, що обумовлює обміління та деградацію малих річок, заростання русел та евтрофування [2, 3]. Даному процесу сприяє зміна водного балансу територій внаслідок вирубування лісів та багаторічних насаджень, а також інтенсивна розораність земель, невикористання протиерозійних технологій обробітку ґрунту та вирощування сільськогосподарських культур, надмірне використання мінеральних добрив, гербіцидів та пестицидів та ін.

Таким чином, трансформування та транспортування води в ненасичених ґрунтах - це ключовий чинник гідрологічного циклу малих річок. Завдяки тому, що вода являється гарним розчинником, ґрунтова вода переносить велику кількість солей, нітратів та усіх видів забруднювачів. На рисунку 1 представлена схема транспортування води у верхніх шарах ґрунту в межах річкового басейну. Співвідношення між різними елементами гідрологічного циклу визначає динаміку проходження основних процесів: швидкість транспірації рослин, випаровуваність, поверхневий стік, ерозійні процеси та ін.

Ретельне вивчення законів транспортування води в різноманітних шарах ґрунту та їх моделювання необхідно для оцінки величин площинного змиву, формування якості вод річкового басейну. Особливо важлива є прив'язка даних процесів до конкретних просторових особливостей формування водозбору кожної конкретної річки (суббасейну), що дозволяє значно підвищити рівень наукового забезпечення при розкритті даних питань.

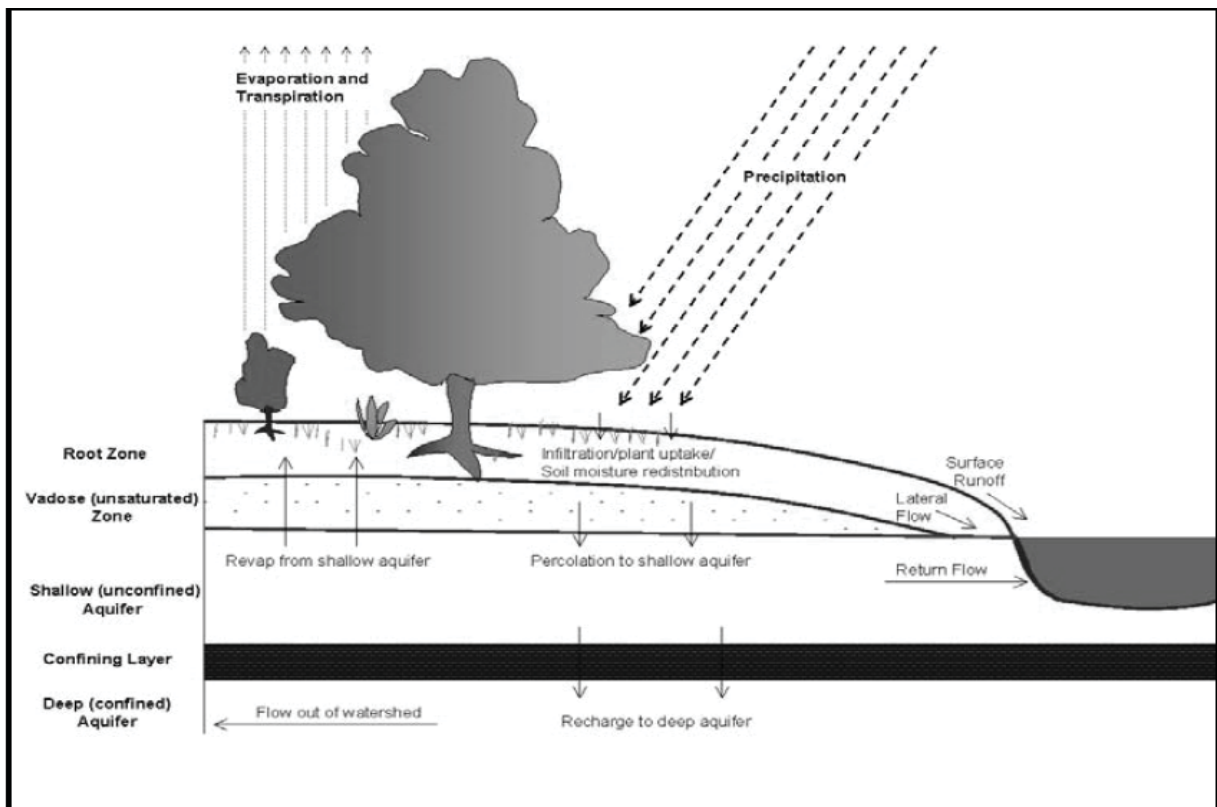


Рис.1. Схематичне зображення гідрологічного циклу в межах водозбору річки [4]

Результати досліджень. Програмні продукти ГІС дозволяють виконувати координатну прив'язку об'єктів різної конфігурації, у картографічному вигляді представляти результати спостережень, моделювати природні та технологічні процеси. Растрові та векторні зображення в ГІС дозволяють визначати площі розвитку тих чи інших процесів, більш об'єктивно оцінювати екологічні наслідки та економічний ефект від різних рішень з управління водними та земельними ресурсами, оптимізації заходів щодо регулювання русел річок, оцінки можливих змін розвитку руслових процесів.

Як правило, моделі водних ресурсів, що реалізуються у ГІС-середовищі, базуються на відомих рівняннях водного балансу для басейнів річок чи територій різного рівня, динамічних моделях вологопереносу, гідродинамічних моделях руху ґрунтових вод та моделях випаровування з рослинного покриву, ґрунту та водної поверхні тощо [5].

Важливість впровадження ГІС-технологій в практику наукових досліджень та діяльність водогосподарських організацій задекларовано в Загальнодержавній програмі розвитку водного господарства (Закон України від 17 січня 2002 року № 2988-III). У розділі II Програми серед пріоритетних напрямів передбачено створення геоінформаційної системи оцінки, прогнозування і моніторингу водних балансів у водозбірних басейнах, з банком еколого-водогосподарської інформації. У розділі IV "Удосконалення управління водним господарством, охороною і відтворенням водних ресурсів" серед основних завдань зазначена необхідність створення басейнової геоінформаційної системи з банком кадастрової інформації про водний фонд, водні ресурси, використання водних ресурсів, якість води та ін [6].

Починаючи з 80-х років у країнах як Східної, так і Західної Європи, США розпочалися роботи по розробці різного виду агрогідрологічних моделей, що реалізовані в ГІС-середовищі, які б найбільш точно відображали процеси, що проходять у ґрунті та на поверхні рослинного покриву, в межах річкового басейну. При цьому найбільш ефективним є поєднання ГІС з можливостями засобів дистанційного зондування земної поверхні (ДЗЗ), використанням глобальних баз даних та аналітичних моделей. Це дає змогу використовувати в одному інформаційному просторі принципово різні підходи – від можливості деталізації окремих об’єктів до найменших деталей з інтегральним аналізом в межах супутникового знімку, який охоплює значні за площею території.

В табл. 1 наведено перелік деяких закордонних агрогідрологічних моделей, що використовуються в різних аспектах управління водними ресурсами [4].

Таблиця 1. Агрогідрологічні моделі та основні напрямки їх застосування

Назва моделі	Основні напрямки застосування	Розробник
SOBEK	Проблеми підтоплення земель, міграція речовин, гідродинаміка	WL Delft Нідерланди
MIKE BASIN	Кількість та якість води, басейнове управління водними ресурсами	DHI, ФРН
ECOS/Moneris	Моделювання потоків в межах водозбору, нітрати	IGB, ФРН
MODFLOW2000	Моделювання процесів перетоків ґрунтових вод	USGS
BASINS	Басейнове управління водними ресурсами (використовує субмоделі HSPF, SWAT, WASP)	US EPA
WASP7	Басейнове управління водними ресурсами Моделювання та аналіз якості води	US EPA
SWAT	Інструментальні засоби для оцінки процесів у середовищі ґрунт-вода, басейнове управління водними ресурсами, ерозія, рух пестицидів	US EPA
PLOAD	Моделювання забруднень неточкових джерел річок	US EPA
HSPF (Fortran)	Гідрологічне моделювання, басейнове управління водними ресурсами, оцінка забруднення	US EPA
AQUATOX	Гідро-токсикологічне моделювання Якість водних ресурсів, екосистема, токсичні забруднювачі, осад	US EPA
AGWA1.4	Геопросторове визначення басейнів (водорозділів) у автоматичному режимі, допоміжні моделі	U.S. Agricultural Research Service's Southwest
QUAL2E	Басейнове управління водними ресурсами	US EPA
CE-QUAL-W2 vers.3	Гідродинаміка, басейнове моделювання, моделювання якості водних ресурсів	Scott A. Wells

Аналіз наведених моделей показав, що напрям використання гідрологічних моделей, реалізованих в ГІС-середовищі, є досить перспективним у світовій практиці при проведенні наукових досліджень, особливо при виконанні імітаційного моделювання сценаріїв розвитку процесів у межах річкового басейну та русел річок.

Проте існують певні труднощі щодо використання даних моделей в Україні. Серед них можна виділити наступні:

- не всі програмні продукти надаються в відкритому доступі (дороговартісні);
- особливі вимоги до експериментального забезпечення (дані повинні бути зібрані за порівняно короткий термін по єдиній методиці на всій площі водозбору);
- наявні дані не завжди забезпечують необхідний мінімум для проведення калібрування та верифікації моделей;
- невідповідність вітчизняних методик отримання експериментальних даних тощо.

Поряд з цим, в Україні існують досить успішні результати використання вказаних моделей. Так, лабораторією використання зрошуваних земель Інституту водних проблем та меліорації (ІВПіМ НААНУ) та його Кримським науково-дослідним центром у рамках наукової програми досліджень Національної академії аграрних наук України та виконання ряду міжнародних проектів виконані роботи щодо адаптації моделі SWAT (Soil and Water Assessment Tool), що реалізована у середовищі ArcGIS для моделювання якості та кількості водних ресурсів на територіях для цілей управління водоземлекористуванням на територіях та управління зрошенням [7, 8].

Дана модель розроблена у співпраці багатьма науковими інститутами різних країн [9-10]. За допомогою цієї моделі є можливість відпрацьовувати та проаналізувати різні сценарії проходження процесів у межах річкового басейну та русел річок, визначати вплив антропогенного навантаження на кількість доступних водних ресурсів, стан навколишнього природного середовища та продуктивність агроландшафтів тощо. Результатом моделювання є витрати води та її хімічні характеристики у гідрологічних створах спостережень, визначення ареалів розповсюдження ерозійних процесів. Модель SWAT інтегрується у програмні продукти MapWindow або ArcGIS. Програмне забезпечення моделі SWAT має вільний доступ до алгоритму та є безкоштовним.

На рисунку 2 наведено схему моделі, основні складові якої включають гідрологію, мережу водних об'єктів, кліматичні умови (щоденні показники температури та вологості повітря, швидкість вітру та ін.), радіаційний фон, а також характеристики землекористування та ведення сільськогосподарського виробництва: дози внесення добрив та засобів захисту рослин, показники якості ґрунтової води та технології вирощування сільськогосподарських культур та ін. [4].

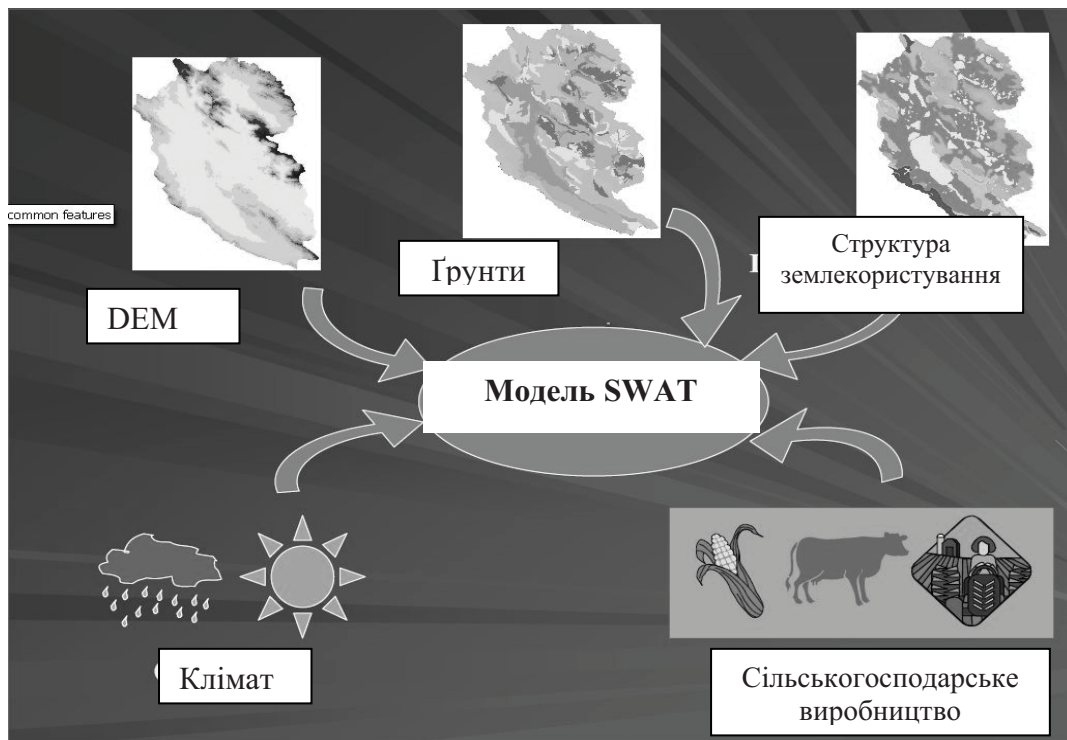


Рис. 2. Вхідні дані моделі SWAT (DEM – цифрова карта рельєфу)

Гідрологічний цикл, що імітується моделлю SWAT, має за свою основу рівняння водного балансу наступного вигляду(1) [10]:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}), \quad (1)$$

де SW_t – загальний вміст вологи у ґрунті (мм); SW_0 - початковий вміст вологи у ґрунті в i -ий день (мм); t – час; R_{day} – кількість опадів в i -ий день (мм); Q_{surf} – поверхневий стік в i -ий день (мм); E_a – евапотранспірація в i -ий день (мм); w_{seep} – кількість вологи, що надійшла до ґрунтових вод через ґрунтовий профіль (мм); Q_{gw} – обсяг зворотного потоку вологи від ґрунтових вод в i -ий день (мм).

Поверхневий стік моделюється окремо для кожної гідрологічно особливої ділянки. Результати сумують по суббасейну і далі отримують загальний результат по всьому водозбірному басейну. Така покрокова організація процесу набагато підвищує точність моделювання, а також краще фізично відображає водний баланс басейну річки [7]. Після того як були визначені такі параметри як об'єм стоку води, кількість поживних речовин, пестицидів та наносів, які надійшли до головного потоку водозбірного басейну, SWAT моделює їх подальше переміщення та трансформацію в річковій мережі за принципом застосованим в моделі HYMO [11].

Ерозія та утворення твердого осаду в моделі SWAT розраховується за так званим модифікованим універсальним рівнянням виносу ґрунту (modified universal soil loss equation) (Williams, 1995) [12]. Об'єм поверхневого стоку використовується для розрахунку ерозії та обсягів виносу твердих часток. Дана модель дозволяє проводити розрахунки обсягів ерозії внаслідок окремо взятої події (наприклад, зливи). Ця особливість моделі досить важлива. Так,

згідно досліджень Г.А. Ларіонова, Р.С. Чалова та ін. [13] визначено, що найбільш деградованими є малі річки, в басейнах яких головним фактором ерозійних процесів на водозборі є дощовий стік (а не талі води), при якому інтенсивність надходження наносів в річку зростає в декілька разів. В моделі враховується також фактор, який визначає практику ведення сільськогосподарського виробництва на території.

Нижче наведені результати моделювання у вигляді карт, що отримані в ІВПіМ НААНУ [8] (рис. 3), де проведено моделювання поверхневого стоку, виносу твердих часток внаслідок ерозійних процесів та виносу органічного фосфору по кожному з суббасейнів у р. Салгир (АР Крим) у створі до впадання її у Сімферопольське водосховище.

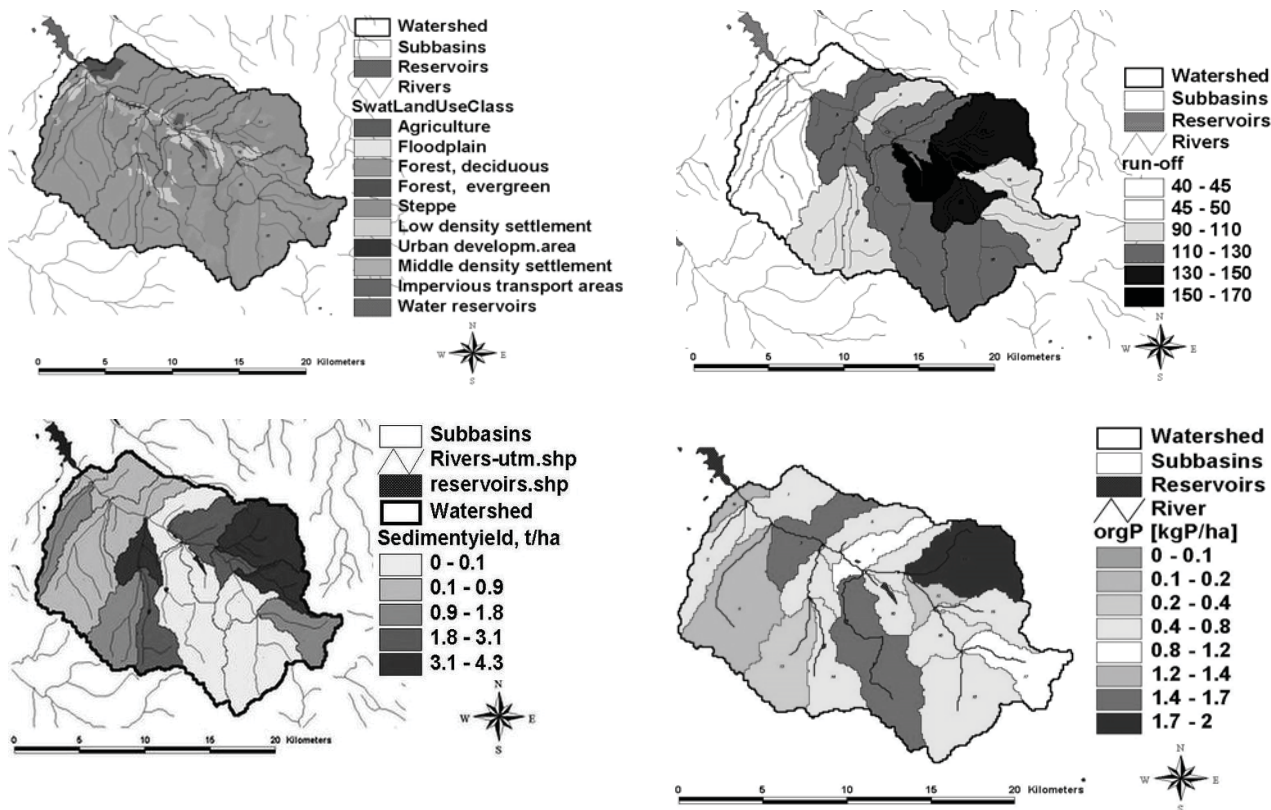


Рис. 3. Зліва направо: карта землекористування, поверхневий стік (мм/місяць); нижче – винос твердих часток (тонн/га*рік) та винос органічного фосфору (кг/га*рік)

Як видно з рисунку 3, найбільша кількість ерозійних наносів формується у північно-східній частині басейну р. Салгир та змивається під час сильних злив. Азот, в основному у вигляді амонію, та фосфор адсорбуються на поверхні еродованих часток і потрапляють з ними до річкових вод [8].

Візуалізація результатів моделювання дозволила досить чітко виділити території, на яких формується найвища величина площинного змиву та території, що найбільш суттєво впливають на формування якості вод річкового басейну та потребують проведення першочергових організаційних та технічних заходів для покращення їх стану. Адаптація моделі проводилась в основному за критерієм величини фактичного стоку, виходячи з мети

досліджень – оцінка поточного стану розподілу доступних водних ресурсів на території в залежності від різних зовнішніх факторів; оцінка стану водних ресурсів при різних сценаріях водоземлекористування.

На наш погляд, важливим напрямком використання даної моделі може стати її застосування для цілей визначення величин площинного змиву на водозборі та формування забруднення малих річок при різних варіантах антропогенного навантаження: водоземлекористування; практик сільськогосподарського виробництва та ін.; оцінка можливих змін в руслах при різних кількостях наносів в залежності від транспортуючої здатності потоку тощо.

Для адаптації моделі SWAT для запропонованих цілей, для умов малих річок, що мають загрозу обміління та деградації, необхідно провести додаткові дослідження з ідентифікації її параметрів [7], в напрямку уточнення гідрологічних характеристик, характеристик формування ерозійних процесів в басейні та руслі, характеристик формування якості вод річкового басейну.

В разі успішної адаптації та верифікації даної гідрологічної моделі, в зазначених напрямках можливо отримати ефективний інструмент з визначення величин площинного змиву на водозборі та формування забруднення малих річок при різних варіантах антропогенного навантаження на територіях, проводити оцінку різних сценаріїв водоземлекористування, метеорологічних умов, застосування організаційних та технічних заходів, тощо.

Висновки і пропозиції. Впровадження ГІС-технологій та моделювання гідрологічних процесів в практику наукових досліджень з оцінки розміщення та величин площинного змиву, формування якості вод річкового басейну дозволить вирішити наступні задачі:

1. Проведення розрахунків кількісних характеристик басейнів річок (витрати, величина площинного змиву) та якості водних ресурсів (концентрації хімічних елементів, вплив добрив та гербіцидів).

2. Визначення напрямку водних потоків в гідрологічно особливих ділянках суббасейну та місць акумуляції стоку.

3. Організація баз даних та підготовка картографічного матеріалу: ґрунтових карт, карт землекористування, карт забруднення, карт ерозійних процесів, тощо.

4. Аналіз можливих сценаріїв розвитку процесів у межах річкового басейну та русел річок (варіантів землекористування, водокористування, точкових та розсіяних джерел забруднення, проведення гідротехнічних заходів тощо).

5. Визначення територій, які зазнають найбільшого негативного впливу на формування величин площинного змиву, погіршення якості води та потребують проведення першочергових організаційних та технічних заходів для покращення їх стану.

6. Проведення типізації річкових суббасейнів за факторами впливу на характер та інтенсивність руслових процесів.

Для широкого застосування гідрологічних моделей при дослідженнях розвитку процесів у межах річкового басейну і русел річок необхідне

створення інформаційної мережі та уніфікованої стандартної бази даних, що включають: основні гідрологічні характеристики річок, умови формування ерозійних процесів, характеристики формування якості вод річкового басейну, фактичне водоземлекористування тощо.

Список літератури

1. Чалов Р.С. Общее и географическое русловедение: / Р.С. Чалов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 112с. 2. Великанов М.А. Русловой процесс. / М.А. Великанов. – М. : Изд-во Физ.-мат. л-ры, 1958. - 395 с. 3. Ободовський О.Г. Гідролого-екологічна оцінка руслових процесів (на прикладі річок України) / О. Г. Ободовський. – К. : Ніка-Центр, 2001. - 274 с. 4. Вивчити закономірності сталого функціонування природно-агромеліоративних систем та розробити теоретичні основи інтегрованого планування водо-землекористування на сільськогосподарських територіях Закл. звіт. / Інститут гідротехніки і меліорації НААН України (03.03.04-045) № д.р. 0107U005090, 2010р. -226 с. 5. Перспективи використання європейських агрогідрологічних моделей у зрошуваному землеробстві / [Жовтоног О.І., Попович В.Ф., Філіпенко Л.А. та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2003. – №7. - С. 54-59. 6. Водний Кодекс України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 1995, № 24, ст. 189) (введений в дію Постановою ВР № 214/95-ВР від 06.06.95). 7. Системний аналіз та гідрологічне ГІС-модельовання, як інструменти для ведення діалогу зацікавлених сторін та прийняття рішень щодо управління водними та земельними ресурсами на сільських територіях. / [О.І. Жовтоног, М. Гофман, О.П. Болькіна, С.О. Михайленко] // Водне господарство України. – 2011. – № 5. - С. 23-32. 8. Використання імітаційної гідрологічної моделі для вирішення завдань управління водними та земельними ресурсами на сільськогосподарських територіях. / [О.І. Жовтоног, М. Хоффман, О.П. Болькіна, С.О. Михайленко] //Меліорація та водне господарство. – 2009. – Вип. 97. – С. 249-261. 9. Abbaspour, K.C., M. Sonnleitner, and R. Schulin. 1999. Uncertainty in Estimation of Soil Hydraulic Parameters by Inverse Modeling: Example Lysimeter Experiments // Soil Sci. Soc. of Am. J., 63: 501-509. 10. Faramarzi, M., K.C. Abbaspour, H. Yang, R. Schulin. 2008. Application of SWAT to quantify internal renewable water resources in Iran. Hydrological Sciences. In review. 11. Williams, J.R. and R.W. Hann (1972). HYMO, a problem-oriented computer language for building hydrologic models. Water Resour./Res., 8(1), 79-85. 12. Williams, J.R. (1995).The EPIC model/ Computer models of water shed hydrology. Water Resour./Chapter 25), 909-1000. 13. Ларионов Г.А. Эрозионно-аккумулятивные процессы на водосборах и руслах малых рек: проблемы и природоохранные вопросы / Г.А.Ларионов, Р.С. Чалов // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана.- М., Изд-во МГУ. 1988.-С.3-14.

Перспективи використання ГІС технологій та гідрологічних моделей для оцінки величини площинного змиву та формування якості вод річкового басейну

Поліщук В.В.

На прикладі моделі SWAT визначено перспективи використання ГІС технологій та гідрологічних моделей для оцінки величин площинного змиву та формування якості вод річкового басейну в практиці наукових досліджень. Надано перелік завдань, які можливо вирішувати при застосуванні даних технологій та обґрунтовано необхідність додаткових досліджень щодо апробації та верифікації гідрологічних моделей для умов України.

Ключові слова: ГІС технології; гідрологічна модель; площинний змив; водозбір; модельовання.

Перспективы использования ГИС технологий и гидрологических моделей для оценки величин плоскостного смыва та формирования качества вод бассейнов рек

Поліщук В.В.

На примере модели SWAT определено перспективы использования ГИС технологий и

гидрологических моделей для оценки величин плоскостного смыва, формирования качества вод бассейнов рек в практике научных исследований. Представлено перечень задач, которые возможно решать при использовании данных технологий, обосновано необходимость проведения дополнительных исследований нацеленных на апробацию и верификацию гидрологических моделей для условий Украины.

Ключевые слова: ГИС технологии; гидрологическая модель; плоскостной смыв; водосбор; моделирование.

Perspectives of using GIS and GIS-based hydrologic models for assessment of surface wash-off and water quality in river basins

Polishchuk V.V.

In this paper we have taken the model SWAT as an example, in order to evaluate the perspectives to use GIS-technologies and GIS-based hydrologic models for assessment of surface wash-off and water quality formation in river basins. The tasks which can be solved with these technologies are listed and the need for further investigations aimed at application and verification of hydrological models for Ukrainian conditions is substantiated.

Keywords: GIS-technologies; hydrological model; surface wash-off; catchment; modelling.

Надійшла до редколегії 02.03.12