

Ю. В. ЗЕЛЕНЬКО (ДИИТ), Л. Ф. ЯЦЕНКО, Д. М. ПОПЕЛЬНИЦКИЙ (Крымский инженерно-педагогический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИКОЛЛИНЕАРНОСТИ ФАКТОРОВ В МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ САКСКОГО ОЗЕРА

Виявлені значні кореляційні залежності в масиві показників, за якими ведуться регулярні спостереження на Сакському родовищі, що дозволяє виявити найбільш значні чинники і вибрати оптимальну і найбільш економічну схему моніторингу, а також створити ефективну прогнозну модель.

Виявлены значительные корреляционные зависимости в массиве показателей, за которыми ведутся регулярные наблюдения на Сакском месторождении, что позволяет выявить наиболее значимые факторы и выбрать оптимальную и наиболее экономичную схему мониторинга, а также создать эффективную прогнозную модель.

There are elucidated considerable correlation relationships in a set of parameters, which are regularly observable at Saks'ke deposit, that allows obtaining most important factors and choosing the optimum and most economic scheme of monitoring, as well as developing the effective forecast model.

В настоящее время для описания и оптимизации процессов взаимодействия природы и человека применяются методы математического моделирования и регрессионно-корреляционного анализа [1]. Однако, большое количество факторов, влияющих на состояние экосциума, обусловили переход от моделей математической экономики и математической экологии к эколого-экономическим моделям [2].

При рассмотрении эколого-экономической проблемы отслеживание всего многообразия факторов интересно не только с точки зрения сиюминутного отражения ситуации, но и с точки зрения предсказания ее развития.

Построение надежной прогнозной модели требует большого количества наблюдений, что связано не только с проблемой корректного измерения необходимых величин, но и с существенными экономическими затратами на такие наблюдения.

Если ряд факторов находится в сильной корреляционной зависимости друг от друга (существует мультиколлинеарность в массиве фактор-признаков), то некоторые из них можно исключить из модели. Это не приведет к ухудшению многофакторной регрессионной модели [2], однако сократит финансовые затраты на «лишние» наблюдения.

В сложившихся тысячелетиями географических, природных и погодных условиях на Крымском полуострове располагаются крупные грязевые озера, суммарный объем лечебной

грязи в которых составляет около 24 млн. м³ [3]. Месторождения лечебной грязи расположены по всему Крыму. В связи с сокращением финансирования деятельность многих грязелечебниц и станций грязедобычи были свернуты, и на сегодняшний день в Крыму осталось единственная действующая гидрогеологическая станция, ведущая систематические наблюдения. Это Сакская гидрогеологическая режимно-эксплуатационная станция (Сакская ГГРЭС). На данный момент Сакская ГГРЭС исследует и поддерживает только Сакское месторождение минеральных вод и лечебной грязи, что составляет приблизительно 3 млн. м³ (12,5% от всех запасов лечебной грязи Крыма). Остальные запасы лечебной грязи, которые по оценкам специалистов могут быть использованы в лечебно-рекреационных процессах, расположены на Керченском полуострове (озера Узунлар, Тобечик, Кояш, Чокрак) и имеют более 20 млн. м³ лечебной грязи (87,5%) [4].

В задачи Сакской ГГРЭС входит наблюдение за параметрами водно-солевого режима Сакского озера, от которого в свою очередь зависит процесс формирования запасов лечебной грязи (сульфидной иловой грязи). В связи с месторасположением и видом грязезалежи Сакского озера на водно-солевой баланс влияет множество различных условий, которые будут рассмотрены ниже.

Водно-солевой баланс Сакского озера зависит от множества различных условий [5].

Погодные условия. Основными факторами, влияющими на регуляцию запасов воды в любом природном водном объекте, являются:

- температура воздуха;
- направление и скорость ветра;
- влажность воздуха;
- выпадение осадков.

В связи с месторасположением Сакского лечебного озера – в прибрежной полосе Черного моря, метеорологическая обстановка в этом регионе отличается от метеорологической обстановки основной части полуострова. В основном все метеорологические процессы носят сезонный характер. В поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды все четыре погодных условия ведут к сдвигу водного баланса в сторону опреснения озера. В поздний весенний, летний и ранний осенний периоды эти же факторы способствуют интенсивному испарению воды с поверхности озера, что приводит к повышению содержания соли в воде («солевого процента»).

Температура воздуха, направление и скорость ветра, влажность воздуха и количество осадков имеют ярко выраженные сезонные колебания. В прибрежной полосе климат относительно мягче, чем во внутренней части полуострова. Поэтому в Сакском районе в зимнее и осеннее время года преобладает сухой северо-восточный ветер. В летнее и весеннее время года наряду с этим ветром дуют более влажные южный и юго-западный ветры. В зависимости от времени года влияние того или иного ветра на данный регион отображается в формировании температурного показателя и испарении влаги (ускорение или замедление испарения, выпадение осадков).

Грунтовые воды. Грунтовые воды – один из важнейших источников питания Сакского лечебного озера, активно влияющий на его водно-солевой баланс. В зависимости от погодных условий характер поступления грунтовых вод носит сезонный характер. Повышение интенсивности поступления грунтовых вод проявляется в поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды. С грунтовыми водами в Сакское озеро поступает комплекс хлоридных, натриевых и сульфатных солей и ионов.

Основными местами попадания грунтовых вод в грязелечебные бассейны являются западная часть (морская вода фильтруется через западную пересыпь, отделяющая озеро от Черного моря), северо-восточная часть и юго-восточная часть (воды попадают через грунт в связи с интенсивным выпадением осадков).

Грунтовые воды в зоне озера залегают на глубине от 1,0 до 7,0 м.

Микробиологический и бактериологический баланс. При составлении модели формирования запасов лечебной грязи следует учитывать микробиологический и бактериологический баланс, т.к. некоторые группы микроорганизмов выделяют вещества, влияющие на лечебные свойства грязи. В Сакском озере преобладают нитрифицирующие, денитрифицирующие, уробактерии, целлюлозоразрушающие аэробные и анаэробные бактерии [4]. Развитие всех групп бактерий и микроорганизмов зависит от погодных и физико-химических условий. Поэтому микробиологический и бактериологический баланс носит сезонный характер. Также следует отметить полное отсутствие некоторых групп бактерий и микроорганизмов в отдельные календарные месяцы года.

Физико-химическое состояние. Заключительная группа факторов, которая влияет на формирование запасов лечебной грязи, – это процентное содержание химических элементов, катионов и анионов, содержащихся в рапе, и их соотношение. В водах Сакского озера, которое характеризуется залежами сульфидной иловой грязи, в основном преобладают сульфаты и гидрокарбонаты щелочных и щелочно-земельных металлов. В условиях значительного длительного понижения температуры рапы происходит выпадение в осадок сульфата натрия (Na_2SO_4). Также в рапе, как правило, содержатся соли магния (сульфат MgSO_4 , хлорид MgCl_2) и кальция (карбонат CaCO_3 , гидрокарбонат $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, сульфат CaSO_4). В определенные месяцы, в зависимости от периода года, отмечается полное отсутствие некоторых веществ в рапе, что тоже говорит о сезонности протекания физико-химических процессов.

Суммарное содержание данных веществ в рапе характеризует минерализацию – фактор, формирующий условия для преобразования грязи в лечебную грязь.

В настоящее время Сакское озеро разделено на несколько бассейнов, процессы в которых частично или полностью регулируются:

- 1) Западный бассейн – приблизительно 85 % залежей лечебной грязи, здесь происходят более естественные экологические процессы;
- 2) Восточный бассейн – около 15 % залежей лечебной грязи, полностью контролируем;
- 3) Буферный бассейн – пресноводный бассейн, служит для подкачки воды в восточный бассейн в засушливый период, а в период

с избытком пресной воды по сбросному каналу воду сливают в Черное море;

4) Михайловский пруд – основной накопитель воды, подаваемой в буферный бассейн, а далее в восточный бассейн;

5) Чокрак – бассейн-накопитель пресной воды;

6) Ковш – бассейн-накопитель пресной воды;

7) Накопитель-испаритель – основной накопитель пресной воды, функцией которого является слив пресной воды в Черное море в период избытка воды.

Цель работы – выявление сильной коррелированности в массиве факторов-показателей, за которыми ведутся регулярные наблюдения на Сакском месторождении лечебной грязи, что целесообразно с точки зрения выявления наиболее значимых факторов и выбора оптимальной и наиболее экономичной схемы мониторинга.

В рамках настоящей работы не представляется возможным изучить проблему в полном объеме, поскольку отсутствуют необходимые систематические наблюдения за микробиологическим и бактериологическим балансом, а также за режимами пополнения запасов воды за счет грунтовых вод. Исследование наличия мультиколлинеарности факторов, от которых зависит процесс формирования запасов лечебной грязи, было проведено на основе данных, полученных для территории Сакского озера в целом.

Такие факторы, как среднемесячная температура воздуха, среднемесячная относительная влажность, атмосферные осадки характеризуют процессы в любом бассейне Сакского озера.

Были изучены следующие природные факторы:

- среднегодовая температура воздуха (X_1);
- среднегодовая относительная влажность (X_2);
- среднегодовое количество выпавших атмосферных осадков (X_3);
- испарение с поверхности (X_4);
- минерализация рапы в Восточном бассейне (X_5).

На данном этапе исследования мы пренебрегли сезонным характером изменения метеорологических условий и использовали среднегодовые величины (рис. 1). Кроме того, были использованы длительные экспериментальные данные по минерализации рапы и испарению влаги с поверхности Восточного бассейна. Взятые

показатели были получены с 1971-го года по 2004-й год.



Рис. 1. Результаты ежегодных наблюдений за метеорологическими условиями в районе Сакского озера

Для выявления мультиколлинеарности был использован методика, которая называется алгоритмом Феррара-Глобера. Средствами табличного процессора MS Excel по критерию χ^2 (хи-квадрат) было выявлено наличие в целом мультиколлинеарности в массиве пяти изученных факторов:

Сравнение рассчитанной статистики $\chi^2_{\text{факт}} = 25,83495$ с соответствующим табличным значением $\chi^2_{\text{табл}} = 18,30704$ позволило сделать вывод о существовании в данной группе факторов корреляционных зависимостей, так как $\chi^2_{\text{факт}} > \chi^2_{\text{табл}}$.

Следуя алгоритму Феррара-Глобера, далее с помощью критерия Фишера был исследован характер взаимоотношений каждого отдельно взятого фактора и массива оставшихся переменных. Были рассчитаны табличное значение статистики $F_{\text{табл}} = 2,701399$ и оценки по данному критерию для каждого фактора:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= 1,527943; \\
 F_2 &= 4,545773; \\
 F_3 &= 1,248922; \\
 F_4 &= 8,32834; \\
 F_5 &= 3,153654.
 \end{aligned}$$

По критерию Фишера, если оценка F_j (где $j = 1 \dots m$, m – количество исследуемых факторов) j -го фактора больше $F_{\text{табл}}$ $F_j > F_{\text{табл}}$, то фактор X_j мультиколлинеарен к массиву остальных переменных. В данном случае можно видеть, что это условие выполняется для переменных X_2 , X_4 и X_5 . Эти факторы обнаруживают корреляцию по отношению к остальному массиву данных.

Далее для исследования парной корреляции был использован критерий Стьюдента. Были получены оценки $t_{\text{табл}}$ и t_{ij} , которые показали, что второй фактор коррелирует с четвертым, и

пятый фактор тоже коррелирует с четвертым, т.к. если по критерию Стьюдента $t_{ij} > t_{\text{табл}}$, i -й фактор имеет сильную взаимную корреляционную связь с j -м фактором.

Произведенные расчеты показывают значительную корреляцию факторов X_2 – среднегодовой относительной влажности, и X_4 – испарения с поверхности, а также между X_4 и X_5 – минерализацией рапы в Восточном бассейне.

Выводы

Таким образом, при построении модели формирования запасов лечебной грязи можно рекомендовать исключить из рассмотрения одну из этих переменных. Проведение предварительного регрессионного анализа позволяет спрогнозировать, что таким фактором, скорее всего, будет фактор X_4 – «испарение с поверхности». Это позволит сократить затраты на проводимые наблюдения и создать эффективную прогнозную модель.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стадницький, Ю. І. Економічні основи управління оздоровленням доквілля (методологія і практика) [Текст]: монографія / Ю. І. Стадницький. – Л.: Львівська політехніка, 1999. – 260 с.

2. Яценко, Л. Ф. Особенности экономического моделирования геоэкологических процессов [Текст] / Л. Ф. Яценко // Матер. VI-й Межд. конф. «Современные проблемы гуманизации и гармонизации управления», Харьков, октябрь 2005. – С. 232-233.
3. Подгородецкий, П. Д. География Крыма [Текст]: учебное пособие для 9 кл. ср. шк. / П. Д. Подгородецкий, В. Б. Кудрявцев. – Симферополь: Крымское учеб.-пед. гос. изд-во, 1995. – 224 с.
4. Отчет о геоэкологических работах. Комплексное рекогностировочное обследование крупнейших месторождений лечебных грязей Крыма (Чокрак, Узунлар, Кояш, Тобечик) [Текст]. – Саки, 2006. – 209 с.
5. Отчет о научно-практической работе: «Геоэкологическое изучение, режим, эксплуатация и горно-санитарная охрана месторождений гидроминеральных ресурсов Автономной Республики Крым в зоне действия ДП «Сакская ГГРЭС» за 2006 год» [Текст]. – Саки, 2007. – 167 с.

Поступила в редколлегию 22.12.2008.